

## THESIS / THÈSE

### MASTER EN SCIENCES INFORMATIQUES

#### Évaluation d'ergonomie d'écran pour logiciels destinés à des enfants Infirmes Moteurs Cérébraux

Bernard, Claudy

*Award date:*  
1992

*Awarding institution:*  
Universite de Namur

[Link to publication](#)

#### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

#### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

**Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix  
NAMUR**

---

*Institut d'Informatique*

**Evaluation d'ergonomie d'écran pour  
logiciels destinés à des enfants  
Infirmes Moteurs Cérébraux**

**Claudy BERNARD**

**Promoteur : M. Noirhomme-Fraiture**

**Mémoire présenté dans le but de l'obtention du titre de  
Licencié et Maître en Informatique  
1991- 1992**

**" Concevoir un logiciel sans le support d'une analyse  
ergonomique préalable, n'est pas plus admissible  
que programmer sans l'appui d'une spécification "**

**( J. Coutaz )**

Je remercie Madame M. Noirhomme d'avoir accepté de promouvoir ce mémoire, ainsi que pour son aide et ses conseils.

Je remercie tout le personnel du service de rééducation I.M.C. de l'Hôpital de Bicêtre pour son accueil pendant le stage, et en particulier Mesdames F. de Barbot et C. Charrière pour leur précieuse collaboration. Je remercie aussi tous les enfants de ce service, qui ont participé à la réalisation du logiciel et à son expérimentation. Je leur souhaite beaucoup de plaisir à utiliser le programme.

Je tiens également à remercier Madame A. Demeure pour la qualité des dessins.

Mes remerciements vont également à Monsieur D. Lampe pour ses excellents conseils techniques, Monsieur A. Jacqmain, toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la rédaction de cet ouvrage, et enfin toute ma famille qui m'a permis de réaliser ce travail.

## Abstract

Une évaluation de l'ergonomie des interfaces pour enfants infirmes moteurs cérébraux est impossible sans l'utilisation de logiciels adéquats. Nous avons ainsi créé un ensemble de tests permettant d'observer et de mesurer les performances de ces enfants, et de dégager certaines exigences ergonomiques pour la conception d'interfaces destinées à cette population d'enfants.

Dans cet ouvrage, nous analysons les mécanismes de la perception visuelle, de la mémoire et de l'intelligence chez les enfants, et les caractéristiques des enfants infirmes moteurs cérébraux. L'étude de certains critères ergonomiques utiles pour la conception d'une interface sera illustrée par le logiciel ERGOLAB, qui contient l'ensemble des tests, et qui va permettre au thérapeute de choisir les logiciels et le matériel les mieux adaptés pour chaque enfant. Ce logiciel destiné à des enfants âgés de 3 à 12 ans, est divisé en étapes de plus en plus complexes qui présentent différents exercices : réponse à un stimulus, utilisation d'un balayage automatique, des exercices de précision, de déplacement d'objets sur l'écran, et d'utilisation de systèmes de défilement pour rechercher un élément dans un ensemble.

An evaluation of ergonomics in interfaces for physically handicapped children isn't possible without the use of appropriate software. So we have created a set of tests which permit to notice and measure the performances of these children, and to emphasize some ergonomic requirements for the interface conception for this children's population.

In this work, we analyse the mechanisms of visual perception, of memory and intelligence among children, and the characteristics of physically handicapped children. The study of some ergonomic criteria, useful for an interface conception, will be illustrated with the software ERGOLAB, which contains the set of tests, and which allows the therapist to choose the best software and the best material for each child. This software for children from 3 to 12 years old is divided into more and more difficult levels, which present various exercises : answer to a stimulus, use of automatic sweeping system, precision exercises, moving objects on the screen, and the use of scrolling system to search an item in a set.

<b><u>Table des matières</u></b>
----------------------------------

<b>Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre 1 : Quelques éléments de psychologie .....</b>	<b>3</b>
1.1 La perception visuelle .....	3
1.1.1 Définition .....	3
1.1.2 Fonctionnement .....	3
1.1.3 L'organisation perceptive.....	5
1.1.4 L'exploration visuelle .....	5
1.1.5 Stratégies de l'exploration visuelle .....	6
a) les points de fixation prioritaires.....	6
b) les zones informatives d'une figure.....	7
c) stratégies visuelles et programmes d'action .....	7
1.1.6 L'évolution de la perception visuelle et l'efficacité gestuelle	
chez l'enfant : .....	8
Stade 1 : identification perceptive de l'objet.....	8
Stade 2 : le geste dans un espace purement topologique .....	8
Stade 3 : l'espace projectif .....	9
Stade 4 : l'espace euclidien .....	9
Stade 5 : la représentation des déplacements et des vitesses	9
1.1.7 La pathologie de la perception.....	10
1.2 L'apprentissage et la mémoire.....	10
1.3 Les activités intellectuelles .....	12
1.3.1 Généralités .....	12
1.3.2 Les heuristiques .....	12
1.3.3 Les études génétiques de J. Piaget .....	13
Les facteurs du développement intellectuel .....	13
1) La maturation du système nerveux.....	13
2) L'action sur les objets .....	14
3) Les facteurs sociaux .....	14
4) L'équilibration .....	14
Le développement de l'intelligence.....	14

---

1) l'intelligence sensori-motrice .....	15
2) les opérations concrètes à partir de 7 ans .....	16
3) les opérations formelles de 11-12 ans à 14-15 ans ...	17
 <b>Chapitre 2 : L'enfant I.M.C. ....</b>	<b>18</b>
2.1 Définition de l'I.M.C .....	18
2.2 La difficulté d'un diagnostic.....	19
2.3 La variabilité et la gravité des troubles.....	21
2.4 L'utilisation de l'informatique dans la rééducation :	
Pourquoi ? .....	21
Comment ? .....	22
Les problèmes rencontrés .....	22
 <b>Chapitre 3 : L'ergonomie des interfaces .....</b>	<b>24</b>
3.1 Critères d'évaluation d'une interface .....	25
3.1.1 Le temps d'apprentissage .....	25
3.1.2 La rapidité d'exécution .....	25
3.1.3 Le taux d'erreurs .....	26
3.1.4 La période de rémanence.....	26
3.1.5 La satisfaction subjective à utiliser le logiciel .....	26
3.2 Critères ergonomiques empiriques de design .....	27
3.2.1 La cohérence.....	27
3.2.2 La concision .....	27
3.2.3 La structuration des activités .....	28
3.2.4 Le retour d'information.....	28
3.2.5 La gestion des erreurs.....	29
3.2.6 La flexibilité.....	29
3.3 Critères de l'utilisateur .....	30
3.3.1 La motivation .....	30
3.3.2 Le niveau intellectuel .....	30
3.4 Les styles d'interaction .....	31
3.5 Le rôle de la couleur .....	32

---

<b>Chapitre 4 : Le logiciel ERGOLAB .....</b>	<b>34</b>
4.1 Introduction .....	34
4.2 Le matériel choisi .....	34
4.3 Hypercard et le langage Hypertalk .....	36
4.3.1 Possibilités .....	39
4.3.2 Les contraintes .....	40
4.4 L'évolution du cahier des charges pendant le stage .....	45
4.4.1 Le cahier des charges initial .....	45
4.4.2 Les prototypes de départ .....	47
4.4.3 Elaboration de la structure globale du logiciel .....	47
4.5 La structure globale du logiciel .....	48
4.5.1 Le signalétique enfant .....	49
4.5.2 Modules d'introduction et d'aide générale .....	50
4.5.3 Le menu général .....	50
4.5.4 L'ensemble des exercices .....	51
4.5.5 L'aide contextuelle .....	54
4.6 La classification des exercices .....	57
4.6.1 La pré-étape .....	58
4.6.2 L'étape 1 : l'appui sur le contacteur .....	58
4.6.3 L'étape 2 : la navigation dans l'espace-écran .....	65
4.6.4 L'étape 3 : la recherche par défilement .....	73
4.7 Les mesures effectuées .....	78
4.8 L'ergonomie dans le logiciel .....	81
4.9 ERGOLAB : outil d'évaluation .....	83
4.10 Propositions d'amélioration .....	84
- La couleur .....	84
- D'autres exercices .....	84
- Reprise d'exercices d'évaluation pour en faire des exercices d'apprentissage .....	85
<b>Conclusion .....</b>	<b>86</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>88</b>



## **Introduction**

On imagine souvent très mal les difficultés que rencontrent les personnes handicapées physiques, et en particulier les enfants I.M.C. (Infirmes Moteurs Cérébraux). Leurs troubles et déficiences leur interdisent différentes actions, et leur environnement est généralement peu ou pas adapté à leurs besoins. Certaines personnes ne savent ni lire, ni écrire, ni compter, ni communiquer, et leur autonomie se voit donc réduite à bien peu de chose. Il faut dès lors mettre tout en oeuvre pour qu'elles utilisent, exploitent, et profitent au mieux des capacités qui leur restent, et puissent ainsi trouver des suppléances aux fonctions qui leur font défaut.

Les enfants I.M.C. ont généralement une intelligence normale voire supérieure, et si on leur donne la possibilité et les moyens de l'exploiter, l'enfant n'en gagnera que davantage d'autonomie tant dans le milieu familial que professionnel. Un bel exemple est un ancien élève de l'Hôpital de Bicêtre, qui a aujourd'hui 36 ans, et est docteur en mathématiques, pourtant il ne sait pas écrire lui-même et parle difficilement.

Beaucoup de travail a déjà été fait dans le domaine de la rééducation, mais les spécialistes de l'éducation et les scientifiques doivent unir leurs efforts pour apporter une aide aux personnes handicapées. Le présent travail est un exemple d'une telle collaboration entre spécialistes d'orientations différentes.

L'informatique peut apporter beaucoup aux enfants I.M.C. , mais encore faut-il qu'elle soit adaptée à leurs exigences : adaptation du matériel, mais aussi adaptation des logiciels. C'est de ce deuxième type d'adaptation dont il sera question dans cet ouvrage avec le chapitre 4 consacré au logiciel créé pour évaluer les adaptations nécessaires au niveau de l'ergonomie des logiciels, et spécialement l'ergonomie des informations affichées sur les écrans informatiques. L'objectif est bien d'adapter la machine à l'homme et non l'inverse.

Dans le chapitre 1, nous analyserons quelques éléments de psychologie, dont la perception visuelle, l'apprentissage et la mémoire, et les activités intellectuelles.

Le chapitre 2 décrira l'enfant I.M.C. , et l'utilisation possible de l'informatique dans la rééducation ou éducation thérapeutique.

Dans le chapitre 3 , nous parlerons de l'ergonomie des interfaces, et en particulier des critères que le concepteur doit prendre en considération, et des styles d'interaction.

Dans le chapitre 4 , nous analyserons en détail le logiciel ERGOLAB, créé pour des enfants I.M.C. âgés de 3 à 12 ans. Ce logiciel permet une évaluation et une quantification des performances de l'enfant, au travers d'exercices illustrant certaines tâches que l'on rencontre souvent dans les logiciels, mais qui sont parfois peu ou pas adaptés à des enfants I.M.C. .

## **Chapitre 1 : Quelques éléments de psychologie**

### **1.1 La perception visuelle**

#### **1.1.1 Définition**

La perception désigne le processus de recueil et de traitement de l'information sensorielle. L'information captée au niveau des organes sensoriels est acheminée vers le système nerveux central, où elle sera traitée. Dans la perception visuelle, le système oculaire est chargé de capter des stimulus, de l'information du milieu extérieur; cette information est ensuite traitée par le système nerveux, via les neurones sensoriels et moteurs, pour régler les conduites de l'organisme.

Sur le plan psychologique, la notion de perception renferme plusieurs phénomènes :

*la reconnaissance perceptive* témoigne de la possibilité d'identifier un stimulus complexe, essentiellement mais non uniquement, par référence à un stimulus antérieurement perçu

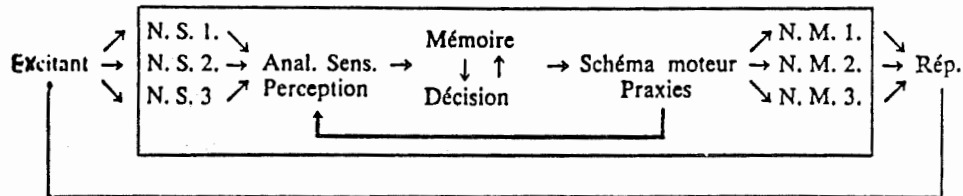
*la représentation perceptive* témoigne de la possibilité de construire une image mentale qui corresponde de façon plus ou moins schématique à un stimulus complexe du milieu et cela même en l'absence de ce stimulus.

La représentation perceptive suppose une reconnaissance perceptive, l'inverse n'est pas vrai.

#### **1.1.2 Fonctionnement**

Le stimulus excitant est transmis via des neurones sensoriels, et la réponse, via des neurones moteurs. Mais d'autres éléments interviennent également dans la réaction aux stimulus extérieurs : un organe d'analyse

sensorielle pour analyser les diverses sensations résultant du stimulus excitant, un organe de décision en interaction avec une mémoire (contenant les résultats des expériences passées), et les schémas moteurs, appelés aussi praxies, contenant les ensembles d'actions élémentaires que l'organisme doit effectuer pour répondre à l'excitation. Cfr figure 1.1



N.S. : neurone sensoriel

N.M. : neurone moteur

Figure 1.1 : Mécanisme simplifié de la perception

Actuellement, nous connaissons relativement bien la structure neuronale du cerveau. Elle se compose d'un ensemble de neurones, reliés entre eux par des synapses. On distingue deux types de synapses : les synapses excitatrices : elles permettent à un signal résultant d'un excitant, de poursuivre son chemin vers un autre neurone, et les synapses inhibitrices, qui arrêtent le signal. Ainsi, selon le chemin que parcourra le signal dans la structure neuronale, on observera des réponses différentes pour un même stimulus en fonction des circonstances. L'information traverse donc un dédale de neurones, mais elle ne se perd pas progressivement, elle est analysée par différents neurones qui ont chacun leurs propres fonctions. Il est important de souligner que l'objet qu'un sujet perçoit, est une construction, un ensemble d'informations sélectionnées et structurées en fonction de l'expérience antérieure, des besoins, des intentions du sujet impliqué dans une certaine situation; ce n'est donc pas une photographie de l'objet perçu ou percept, identique pour tous les sujets percevants. Mais cela est-il inné, ou observe-t-on un développement de cette perception après la naissance ? Considérons pour cela l'organisation perceptive.

### 1.1.3 L'organisation perceptive

Le système nerveux humain est immature à la naissance, la phase de maturation se fait pendant les quelques années qui suivent, avec un apprentissage du milieu. Cependant, nous pouvons noter quelques mécanismes innés dans la perception humaine :

- la ségrégation entre figure et fond
- la reconnaissance préférentielle du visage humain
- la reconnaissance préférentielle de la voix humaine
- la poursuite visuelle avec des stimulus appropriés

La plupart des théoriciens, et entre autre D.O. Hebb affirment que la perception visuelle normale est le résultat d'une longue période d'apprentissage. En effet, l'hypothèse de J.S. Bruner indique que l'acte fondamental de la perception consiste à confronter une stimulation actuelle avec les traces laissées par des stimulations antérieures. Or, cette longue période d'apprentissage va permettre l'enregistrement de ces traces dans la mémoire, sans oublier que tout ceci varie pour chaque sujet, avec un contexte d'apprentissage différent, des activités différentes etc.

On reconnaît aussi généralement l'existence de précâblages, structures nerveuses innées, pour la perception de l'espace. On reparlera de ces précâblages dans l'étude de l'exploration visuelle qui suit.

### 1.1.4 L'exploration visuelle

Comme indiqué ci-dessus, il existe des structures innées pour la perception de l'espace, mais ces structures doivent être utilisées très tôt après la naissance, sous peine d'une rapide détérioration, et de réelles pertes de fonctions; le rôle de l'exercice dans la perception de l'espace reste donc essentiel.

L'exploration visuelle débute dès la naissance, et J. Piaget distingue deux stades dans la construction de l'espace chez l'enfant :

- un espace d'action, qui se construit jusqu'à l'âge d'environ 18 mois. Cet espace d'action regroupe les objets perçus actuellement, qui

deviennent permanents, tandis que s'élabore pendant ce temps la coordination entre la vision et la préhension d'un objet. Il en est ainsi pour le bébé dans son berceau, entouré de ses jouets.

- un espace représentatif qui se développe après l'espace d'action, dans lequel l'enfant devient peu à peu capable d'actions 'intériorisées' portant sur des objets perceptiblement absents, mais qu'il symbolise.

Comment s'effectue la perception visuelle ?

Il semble qu'aujourd'hui chez l'homme, l'exploration du champ visuel fait appel à deux systèmes paraissant être anatomiquement et fonctionnellement distincts : le premier, le système géniculo-strié, serait spécialisé dans le traitement d'informations permettant de reconnaître les objets; le second, le système rétino-tectal, serait chargé de localiser les objets dans l'espace. Ces deux systèmes coopèrent pour assurer l'exploration du champ visuel, car seulement une très faible portion est visible pour chaque position de l'oeil. Regardons maintenant si cette exploration visuelle se fait totalement au hasard, ou si au contraire elle respecte certaines stratégies.

#### 1.1.5 Stratégies de l'exploration visuelle

Il existe effectivement des stratégies qui ont été mises en évidence par divers travaux.

##### a) les points de fixation prioritaires

Quand plusieurs objets sont présents simultanément dans le champ visuel (ce qui est très souvent le cas dans la vie de tous les jours), sur quel(s) objet(s) notre regard se fixe-t-il en priorité ? Deux règles sont d'application pour l'exploration :

- la règle d'économie : de deux points inégalement éloignés du point de fixation initial, c'est le plus proche qui attire d'abord le regard.

- la règle de dissymétrie : de deux points inégalement éloignés du point de fixation initial, sur un plan vertical, c'est le point le plus haut qui est prioritaire.

b) les zones informatives d'une figure

Les points fixés par des sujets auxquels on présente des figures formées de lignes se coupant et de contours plus ou moins complexes, ne se répartissent pas au hasard. En effet, ces points fixés se concentrent sur des zones déterminées : les zones dites 'informatives' : les frontières, les intersections de lignes, angles. Ces zones fournissent le plus d'informations sur la figure pour un nombre donné de fixations oculaires. Cfr figure 1.2

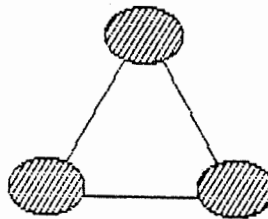


Figure 1.2 Exemple de zones informatives pour un triangle

Des études menées par P. Salapatek, sur 72 sujets d'âge moyen égal à 62,7 heures ont rapportées également cette ' valeur d'appel ' qu'ont les angles d'un triangle [ Salapatek 1968 ]. Ceci mène à penser que ces stratégies d'exploration pourraient être précâblées. Cependant, l'apprentissage et l'exercice restent nécessaires pour une exploration visuelle efficace, notamment pour la lecture. Il faut cependant remarquer que si un sujet fixe tel ou tel autre point d'une figure, il y aura des conséquences sur la façon de traiter l'information.

c) stratégies visuelles et programmes d'action

La construction de programmes d'action adaptés à une tâche ne s'effectue qu'entre l'âge de 5 ans et demi à 7 ans. Ceci a été montré par des tests de recherche de similitude entre paires ( semblables ou

différentes ) de dessins arrangées sur deux lignes ou deux colonnes; les enfants entre 4 et 5 ans préfèrent une exploration horizontale plutôt que de rechercher un dessin dans la première ligne ou colonne puis de rechercher son équivalent dans l'autre.

Etudions maintenant l'évolution de la perception visuelle au fil de l'apprentissage, et son incidence sur l'efficacité gestuelle de l'enfant.

#### 1.1.6 L'évolution de la perception visuelle et l'efficacité gestuelle chez l'enfant

Tout mouvement, ou tout maintien d'une attitude suppose une adaptation à l'espace et nécessite donc une analyse des données de l'espace. De même, l'activité gestuelle suppose une connaissance spatiale de l'environnement en plus de celle du corps propre. L'efficacité gestuelle suppose donc une organisation visuelle préalable.

Nous allons décrire cette évolution de la perception visuelle, à travers 5 stades et montrer en parallèle l'évolution de l'efficacité gestuelle correspondante [ J.C. Tabary 1981 ].

##### Stade 1 : l'identification perceptive de l'objet

Durant les 4 premiers mois de la vie, l'enfant est capable de percevoir un objet, ses contours, son environnement, mais ne comprend pas avant le cinquième mois l'intérêt de la manipulation manuelle.

##### Stade 2 : le geste dans un espace purement topologique

La notion d'objet étant bien acquise, le geste reste imprécis et tâtonnant, il se réalise en gradient de but : l'enfant constate après coup si sa main se rapproche ou s'éloigne de l'objet. Un certain nombre d'exercices permettent d'apprécier la qualité de la représentation perceptive topologique de l'enfant :

- copie du trait vertical ou du trait circulaire à 2 ans
- copie du trait horizontal à 2 ans et demi
- copie du rond sous forme d'une ligne refermée à 3 ans



- copie de la croix à 3 ans et demi

L'épreuve d'encastrement de la planche de Gesell ( dont nous nous sommes par ailleurs inspirés pour réaliser un exercice dans le logiciel ERGOLAB ) recouvre une évolution qui va de 20 mois à 3 ans et demi , âge où il y a apparition de l'anticipation gestuelle de l'encastrement avant sa réalisation.

#### Stade 3 : l'espace projectif

L'enfant contrôle de mieux en mieux la direction, et devient capable de représenter certaines formes et distances :

- copie du carré avec angle droit à 4 ans et demi
- copie du triangle à 5 ans et demi
- dessin d'un bonhomme simple sans grand respect des rapports de forme et de dimension.

#### Stade 4 : l'espace euclidien

L'enfant tient de plus en plus compte des mesures d'angles et de distances, et devient sensible à l'existence des déplacements et des vitesses :

- la copie du losange vers 6 ans et demi
- l'introduction du respect des proportions dans le dessin du bonhomme.

#### Stade 5 : représentation des déplacements et des vitesses

Cette représentation est indispensable pour permettre à l'enfant d'adapter son geste à des objets qui se déplacent.

Une bonne représentation spatiale est nécessaire pour assurer une bonne scolarité, par exemple pour aborder la numération, et le bon placement des chiffres. Cependant certains troubles suite à une lésion cérébrale peuvent altérer ou supprimer des fonctions de la perception; c'est ce que nous allons décrire ci-après.

### 1.1.7 La pathologie de la perception

Les troubles suite à des lésions cérébrales ont des effets différents sur la perception selon qu'elles surviennent avant ou après apprentissage. Très souvent, si une lésion survient pendant les quinze premiers mois après la conception, il y a de grandes possibilités de réorganisation cérébrale et de compensation. Plus rarement, il peut y avoir un déficit isolé définitif, c'est le cas pour les prématurés, et donc pour une partie des enfants I.M.C. ( Infirmes Moteurs Cérébraux ).

Nous parlerons ici de deux principaux troubles de la perception, résultant de lésions cérébrales : l'agnosie et l'asymbolie. Dans l'agnosie, il n'y a pas d'intégration suffisante des données sensorielles périphériques. L'analyse de ces données est pauvre, ne permettant ni la reconnaissance, ni la représentation des stimuli. En d'autres mots, l'intégration, l'interprétation et le traitement des informations en entrée sont mauvais. Dans l'asymbolie, l'intégration est effectuée et le sujet décrit assez bien le stimulus, mais il est incapable de le confronter à un souvenir ou à une signification quelconque. On observe également des troubles perceptifs portant sur le langage ( aphasie ), ainsi que des troubles d'organisation visuo-spatiale.

### 1.2 L'apprentissage et la mémoire

Comme nous l'avons déjà expliqué pour la perception visuelle, les conduites actuelles d'un organisme dépendent pour une large part de ses expériences et de ses conduites antérieures.

De façon générale, on dira qu'il y a apprentissage lorsqu'un organisme placé plusieurs fois dans la même situation, modifie sa conduite de façon systématique et relativement durable.

La mémoire concerne, de façon plus limitative, les mécanismes par lesquels un apprentissage ainsi acquis reste disponible pendant un certain temps [ Reuchlin 1979 ].

Nous n'allons pas développer ici les différentes formes d'apprentissage existantes, et les théories s'y rapportant, mais on va analyser la mémoire et son rôle dans l'évolution cognitive de l'enfant.

Une première perspective utilisée dans de nombreux travaux est la perspective 'associationniste' : c'est l'association répétée de deux événements dans le temps ou dans l'espace qui crée un lien entre eux, conduisant à évoquer l'un lorsque l'autre se présente à nouveau ou vice versa. Mais de nouvelles recherches ont très vite montré que le sujet qui mémorise n'est pas un sujet passif, et qu'il a des motivations, des réactions affectives qui vont influencer sur ses mécanismes de rétention.

Les structures de la mémoire ou schèmes constituent la mémoire sémantique, qui est en partie identique chez tous les membres d'une même communauté linguistique, l'autre partie est personnelle, et contient pour chaque individu des attributs d'un objet, des circonstances d'un événement, des attitudes favorables ou défavorables suscitées par cet événement. Le contenu de cette mémoire sémantique est en perpétuelle évolution, s'enrichissant de nouveaux concepts ou de nouvelles relations entre concepts, de nouveaux événements.

Qu'en est-il maintenant de la pluralité des types de mémoires ?

Certains préconisent qu'il n'existe qu'une mémoire à court terme et une mémoire à long terme; d'autres affirment qu'il existe trois types de mémoire : à court, moyen et long terme.

Toutes les querelles actuelles reposent sur la détermination de la durée à partir de laquelle on passe d'un type de mémoire à l'autre. Si l'on ne considère que deux types de mémoire, on peut quantifier la persistance et la capacité de chacune, de la manière suivante :

	<u>persistance</u>	<u>capacité</u>
mémoire à court terme	entre 2 et 73 sec	$7 \pm 2$ mnèmes
mémoire à long terme	infinie	infinie

La mémoire à court terme est fortement limitée en capacité, c'est une mémoire de travail qui détient les informations en cours de manipulation.

La mémoire à long terme est le lieu de stockage de la connaissance permanente.

Nous avons donc souligné le rôle important de la mémoire et surtout de son contenu; ne perdons pas de vue cependant que plusieurs éléments influencent le processus de mémorisation, parmi eux la motivation, l'affection, l'émotivité, et qu'un manque de motivation ou une forte émotivité par exemple peuvent perturber ce processus.

### 1.3 Les activités intellectuelles

#### 1.3.1 Généralités

Chaque homme dispose de conduites adaptatives qui peuvent s'appliquer à des situations très largement différentes les unes des autres. L'intelligence se définit comme l'ensemble des conduites adaptatives les plus généralisables [ Reuchlin 1979 ]. Il existe des conduites adaptatives que le sujet possède en lui et qu'il peut utiliser immédiatement pour répondre aux exigences de situations simples, par exemple en généralisant les actions qu'il a effectuées antérieurement pour une situation similaire.

#### 1.3.2 Les heuristiques

Les résolutions de problèmes sont des situations exigeant une réponse adaptative que le sujet ne peut fournir en utilisant directement les conduites dont il dispose déjà. Pour ces situations, l'homme et l'ordinateur utilisent des heuristiques et non des algorithmes, car ce sont des problèmes complexes, pour lesquels beaucoup de possibilités différentes existent : c'est le cas du jeu d'échec. Les heuristiques sont des méthodes permettant de choisir, entre toutes les méthodes de résolution possibles, celle qui paraît avoir le plus de chance de conduire à la solution, elles ne constituent pas, contrairement aux algorithmes, une démarche sûre, ce qui

peut provoquer des échecs et amener l'individu à choisir une autre heuristique pour résoudre le problème. Diviser pour régner, telle est généralement le fonctionnement d'une heuristique, qui fractionne un problème en sous-problèmes souvent plus simples; on cherche la solution de chaque sous-problème, on intègre toutes les solutions ensemble pour obtenir la solution du problème initial. Un exemple d'une telle méthode est le ' General Problem Solver ' de Newell et Simon.

Cependant, le déroulement de certaines étapes des procédures de résolution des problèmes reste obscur, même pour le sujet qui en est l'acteur, on parle alors de ' flair ', d'intuition.

Nous allons à présent décrire les travaux en psychologie génétique de J. Piaget, qui tentent d'expliquer le fonctionnement de l'intelligence par l'étude de son développement chez l'enfant.

### 1.3.3 Les études génétiques de J. Piaget

Ces études ont donc pour but d'expliquer un mécanisme par la façon dont il s'est construit, en faisant des observations à des âges successifs dans l'enfance. Selon Piaget, le développement de l'intelligence constitue un prolongement des mécanismes biologiques d'adaptation [ J. Piaget 1967, 1970, 1974 ].

#### **Les facteurs du développement intellectuel**

J. Piaget explique le développement intellectuel chez l'enfant à travers quatre facteurs :

##### 1) la maturation du système nerveux

Le système nerveux de l'homme est immature à la naissance, l'interconnexion de ses éléments n'est pas encore physiologiquement achevée, et se poursuit pendant l'enfance. Exemple : la coordination de la vision et de la préhension d'un objet, n'est possible qu'à partir du moment où les voies nerveuses qu'elle met en jeu sont physiologiquement en état de fonctionner, soit à partir de 4 mois et demi environ.

## 2) l'action sur les objets

L'enfant en manipulant des objets, découvre que ceux-ci ont des propriétés : un poids, un volume, une couleur... Ces manipulations permettent aussi à l'enfant de 5 à 6 ans de découvrir des propriétés logico-mathématiques, c'est-à-dire sur les opérations ( somme, soustraction ...)

## 3) les facteurs sociaux

Le langage, les expériences d'interaction et de coopération au sein des groupes dans lequel l'enfant est inclus, l'éducation familiale et scolaire interviennent aussi dans l'achèvement, la maturation des structures de l'intelligence.

## 4) l'équilibration

Piaget définit ce concept comme une autorégulation : " le sujet répond par des compensations actives aux perturbations extérieures, à ces déséquilibres que constituent les problèmes, les lacunes, les conflits " [Reuchlin 1979]. L'enfant recherche donc toujours un état d'équilibre tout en s'adaptant à son environnement.

Nous allons à présent voir comment se développe l'intelligence.

## **Le développement de l'intelligence**

Il semble s'effectuer en stades successifs. A chaque stade, un enfant est capable de telles possibilités, et encore incapable de telles autres. Cette structuration en stades permet de savoir si un enfant déterminé est en ' retard ', en ' avance ', ou ' normal ' par rapport à la moyenne des enfants de son âge. C'est ce que l'on appelle les études différentielles.

Mais que représente un stade ? P. Gréco nous en donne une définition selon Piaget : "pour qu'il y ait stade, il faut d'abord que l'ordre de

succession des acquisitions soit constant. Les structures construites à un âge donné deviennent partie intégrante des structures de l'âge suivant. Chaque stade se caractérise non par un ensemble plus ou moins disparate d'acquisitions, mais par une structure d'ensemble régie par des << lois de totalité >>, suffisamment précises pour que l'on puisse prévoir, certaines acquisitions ayant été constatées, que certaines autres doivent l'être aussi" [ Gréco 1965 ].

J. Piaget distingue trois stades dans le développement de l'intelligence : l'intelligence sensori-motrice, les opérations concrètes, et les opérations formelles.

#### 1) l'intelligence sensori-motrice

Ce stade ou période s'organise dans les dix-huit premiers mois de la vie. L'enfant se situe lui-même comme un objet parmi les autres objets permanents, et se construit la réalité. Les schèmes d'action apparaissent, comme par exemple celui de l'objet à sucer, ou celui de l'objet à saisir. Un schème est la structure, l'organisation d'une action, qui est transférable, généralisable d'une situation à une autre qui lui est semblable. Dans cette première période, Piaget distingue six sous-stades successifs [ Reuchlin 1979 ] :

a) jusqu'à un mois : exercice des réflexes

b) de 1 à 4 mois et demi : acquisition des premières habitudes, renforcement par répétition d'un ensemble sensori-moteur ayant fourni des résultats nouveaux ( réaction circulaire )

c) de 4 mois et demi à 8-9 mois : coordination de la vision et de la préhension, débuts de la différenciation entre les buts et les moyens

d) de 8-9 mois à 11-12 mois : coordination des schèmes, utilisation de moyens connus pour atteindre un objectif nouveau

e) de 11-12 mois à 18 mois : exploration et tâtonnement dirigés, suscitant une différenciation des schèmes d'action et la découverte de moyens nouveaux

f) de 18 à 24 mois : transition avec l'intelligence représentative : l'enfant combine mentalement les schèmes pour trouver la solution à certains problèmes avant d'agir.

Le rôle du langage dans le développement de l'intelligence diffère selon les auteurs, mais chacun reconnaît sa nécessité dans ce processus de développement. Sans entrer dans les détails, trois idées surgissent :

- pour J. Piaget, le développement cognitif est la cause du développement linguistique
- pour J.S. Bruner, le développement linguistique est la cause du développement cognitif
- il existe un troisième facteur qui est à la fois la cause du développement cognitif et du développement linguistique.

## 2) les opérations concrètes

Elles apparaissent vers 7 ans, et se développent pour s'achever vers 11-12 ans. Ces opérations concrètes portent sur des objets présents, ou immédiatement représentés, pas sur des énoncés verbaux. L'enfant devient petit à petit apte à réaliser des classifications, des sériations; cependant, une longue période s'écoule entre le moment où l'enfant commence à intérioriser ses schèmes d'action et à disposer du langage ( vers 2 ans ), et le moment où sa pensée devient opératoire ( 7-8 ans ), période pendant laquelle il y a une restructuration des acquisitions antérieures pour préparer les opérations concrètes.



### 3) les opérations formelles

Période allant de 11-12 ans à 14-15 ans. L'adolescent devient capable de raisonner de façon formellement correcte sur des hypothèses, propositions, au sujet desquelles il ne sait pas si elles sont vraies ou fausses. Apparaît alors un raisonnement hypothético-déductif, et un raisonnement sur la combinaison d'objets avec des opérations propositionnelles telles que : conjonction, disjonction, implication, exclusion, incompatibilité ...

Ajoutons à présent quelques mots sur les études différentielles. Ces études ont pour but d'étudier les différences individuelles, elles permettent de faire d'éventuels diagnostics précoces de retard de développement. En se reportant à des tables numériques, appelées ' étalonnages ', on peut voir par exemple quel pourcentage de la population surpasse pour tel critère, l'enfant considéré. Nous pouvons trouver deux origines aux différences individuelles : le milieu, et l'hérédité.

Un diagnostic précoce d'une déficience mentale chez un individu est d'un grand intérêt, car il importe en effet de savoir aussitôt que possible quels enfants risquent de se trouver en difficultés pendant leur scolarité à cause de cette déficience, afin de leur offrir une éducation tirant le meilleur parti possible de leurs aptitudes. C'est le cas pour les enfants I.M.C. dont nous allons parler dans le chapitre suivant.

## **Chapitre 2 : L'enfant I.M.C.**

### **2.1 Définition de l'I.M.C.**

Nous donnerons deux définitions qui se complètent l'une et l'autre.

1) Le terme Infirmitté Motrice ( d'Origine ) Cérébrale ( I.M.C. ou I.M.O.C. ) a été créé en 1952 par le Professeur Guy Tardieu. Ce concept regroupe les conséquences d'une lésion cérébrale non évolutive, non héréditaire, survenue dans la période péri-natale. Les troubles de la posture et du mouvement sont, par définition, les séquelles prédominantes.

Le terme anglo-saxon de ' Cerebral Palsy ' ( paralysie cérébrale ) prononcé en 1949 par W.M. Phelps différenciait deux types de séquelles cérébrales :

- l'encéphalopathie, qui désigne l'ensemble des séquelles neurologiques et psychiques chroniques, consécutives à des lésions de l'encéphale
- la Cerebal Palsy, qui reconnaît à l'enfant des capacités mentales non proportionnelles au poids de son handicap.

Dans les années cinquante, le Professeur Tardieu dirigeait un service consacré entièrement aux encéphalopathies infantiles. Il préféra le terme I.M.C. au terme de Cerebral Palsy, et il lui sembla nécessaire de distinguer parmi sa population d'encéphalopathes, les enfants dont les troubles moteurs d'origine cérébrale n'empêchaient nullement le développement d'une intelligence suffisante, voire largement supérieure à la moyenne. Tablant sur des suppléances possibles, G. Tardieu estima qu'un quotient intellectuel suffisant ( il avança le chiffre de 80 ) était indispensable pour que les efforts de l'enfant l'amènent à une réelle réadaptation sociale. Il jeta les bases d'une éducation thérapeutique institutionnelle pour débiter une prise en charge des I.M.C. dans un abord pluridisciplinaire.

2) Un I.M.C. est une personne qui a été atteinte avant, pendant ou peu de temps après sa naissance, d'une anomalie non évolutive et non curable des

tissus cérébraux, se manifestant entre autres par des troubles moteurs. L'infirmité motrice d'origine cérébrale est donc un état pathologique et non une maladie. [ Robaye 1975 ].

Quelle est l'ampleur de l'infirmité motrice cérébrale ?

Selon une estimation de R. Salbreux, on estimait fin des années 1980, en France, à 0,6 pour mille le nombre d'enfants cérébro-lésés de quotient intellectuel supérieur ou égal à 70, pour un nombre annuel de 750000 à 800000 naissances.

## 2.2 La difficulté d'un diagnostic

L'établissement d'un diagnostic différentiel, écartant une maladie métabolique ou dégénérative peut être long à établir.

La sévérité des troubles peut être estimée à l'aide d'une échelle inspirée de l'idée de E. Hansen. Elle définit schématiquement leur importance en leur attribuant une cotation, mais sans les analyser. Cfr figure 2.1

- |   |   |
|---|---|
| 0 | aucun trouble décelable   |
| 1 | trouble léger décelable seulement par un spécialiste, ne créant aucune gêne fonctionnelle |
| 2 | trouble visible par tout le monde mais ne gênant pas la fonction                          |
| 3 | trouble important, qui gêne la fonction sans l'interdire                                  |
| 4 | trouble très important qui interdit la fonction   |

Figure 2.1 Echelle inspirée de l'idée de E. Hansen

Nous conviendrons de parler de handicap extrême, lorsque celui-ci est la conséquence de troubles de la posture et du mouvement, évalués globalement à 4. Un examen précis de la neuro-motricité globale permet de

déceler des troubles cotés à 3 , qui laissent subsister une potentialité fonctionnellement utilisable, si on a la volonté de lui donner un sens.

Il existe également différents tests de perception, de motricité, cognitifs, et l'on peut calculer un quotient de développement en appliquant la formule suivante :  $( \text{âge de développement} / \text{âge chronologique} ) * 100$  ; mais ces résultats sont à considérer avec prudence comme le montre l'exemple de la figure 2.2 :

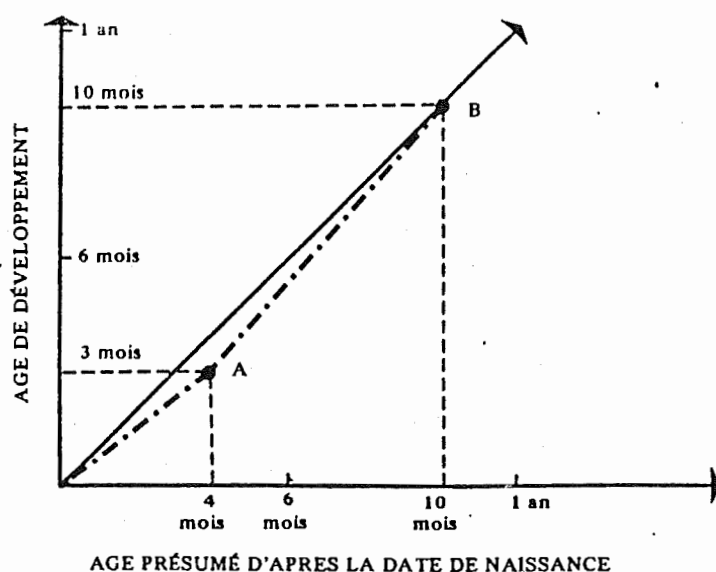


Figure 2.2 Mesure de développement psycho-moteur chez un prématuré.

Au premier examen en A, le prématuré a un niveau de développement de trois mois, quatre mois après sa date de naissance légale. En B, au deuxième examen, il a un niveau de développement de dix mois, dix mois après sa date de naissance légale. Le développement psycho-moteur a donc été de sept mois durant une période de six mois. Un calcul de quotient en A l'aurait montré à 75 alors qu'en négligeant la date de naissance, et en se basant sur l'évolution entre A et B, on calcule un quotient de 115. [Reuchlin 1979].

### 2.3 La variabilité et la gravité des troubles

Parmi les I.M.C. , tous handicaps confondus :

- 30 % sont nés prématurément ( < 36 semaines )
- 40 % ont subi une souffrance néo-natale.

Tous les I.M.C. ne se ressemblent pas. En effet, on peut distinguer plusieurs types parmi les troubles moteurs : la spasticité : les muscles sont raides, hyperirritables, ils répondent à la moindre excitation; on observe aussi des mouvements spasmodiques involontaires, incontrôlés et non coordonnés, des mouvements parasites, des tremblements, rigidité des membres, trouble du langage et bien d'autres.

Un enfant I.M.C. peut ne présenter qu'un trouble du langage, sans aucun autre trouble de motricité, alors qu'un autre sera atteint à des degrés divers de tous les troubles cités ci-dessus. Utiliser l'informatique pour pallier à ces troubles est-elle une solution ?

### 2.4 L'utilisation de l'informatique dans la rééducation

#### **Pourquoi ?**

Les progrès en matière de technologies informatiques et électroniques sont tels que l'ordinateur est devenu aujourd'hui accessible aux personnes faiblement ou fortement handicapées, donc très certainement aussi aux I.M.C. . L'ordinateur est un moyen de substitution qui va permettre à l'enfant I.M.C. par exemple d'écrire une lettre, un texte, alors qu'il est incapable suite à ses troubles de manipuler un stylo sur une feuille, mais il est aussi une source d'amusement pour ces enfants qui ne peuvent jouer avec la plupart des jeux que les enfants valides possèdent. On voit donc bien le rôle que peut jouer un ordinateur dans la rééducation d'un enfant I.M.C. , en soulignant bien que l'utilisation de l'informatique

dans la rééducation n'est pas un but en soi, mais un MOYEN qui va permettre à l'enfant de réaliser des choses qu'autrement il ne pourrait.

### **Comment ?**

L'outil informatique doit s'adapter à l'enfant et non l'inverse. Deux solutions se présentent alors : une adaptation matérielle et une adaptation logicielle. Très souvent les deux adaptations seront nécessaires.

L'adaptation du matériel va permettre à l'enfant d'utiliser l'ordinateur :

- création de dispositifs particuliers pour le clavier :
- clavier simplifié, clavier étendu, ' cache-touche ' etc.
- création de dispositifs d'entrée particuliers : manche à balai, trackball, souris au casque, licorne etc.

L'adaptation du logiciel va permettre à l'enfant d'utiliser les programmes qu'il souhaite :

- styles d'interaction particuliers
- accès aisé aux fonctions de contrôle et de commande du logiciel.

Nous reviendrons plus en détail sur cette adaptation du logiciel dans le chapitre suivant consacré à l'ergonomie des interfaces.

### **Les problèmes rencontrés**

Les problèmes de matériel ont pu être surmontés grâce à l'utilisation de dispositifs d'entrée spécialisés, et parfois grâce à pas mal d'imagination pour les adapter et les régler pour certains enfants. Ces adaptations sont souvent délicates à réaliser, mais sont utiles pour améliorer les performances de l'enfant dans la manipulation du dispositif d'entrée des informations; cependant, pour les logiciels il reste encore beaucoup de chemin à parcourir. En effet, mis à part les logiciels créés ou modifiés pour les enfants I.M.C. , la plupart des autres logiciels de travail ou de détente

sont mal ou non adaptés à ces enfants. Nous ne considérerons pas ici les logiciels trop complexes à utiliser, mais bien les logiciels qu'un enfant entre 3 et 12 ans est capable d'utiliser. L'ergonomie de ces logiciels n'est pas adaptée aux enfants I.M.C. ; le concepteur de logiciels destinés à ces enfants doit en effet observer certaines règles ergonomiques qui sont assez différentes de celles d'un logiciel destiné à une personne valide. C'est ce problème d'ergonomie que nous allons aborder maintenant.

### **Chapitre 3 : L'ergonomie des interfaces**

" Une interface est un système informatique utilisé par une personne pour réaliser une tâche accomplie à l'aide d'un ensemble de moyens informatiques. Idéalement, cette interface doit permettre à la personne de réaliser le mieux possible la tâche qu'elle doit accomplir, c'est-à-dire avec précision, rapidité et sans efforts inutiles " [ Bodart 1989 ]. Or, comme on l'a déjà souligné ci-dessus, l'utilisation de l'informatique par les enfants I.M.C. nécessite du matériel particulier, mais aussi des logiciels adaptés, c'est-à-dire des logiciels ayant une interface ' compatible ' avec les exigences de ces enfants. Rappelons que les enfants I.M.C. ne présentent pas tous les mêmes troubles, et donc que l'interface d'un logiciel pour ces enfants doit pouvoir s'adapter à cette diversité de handicaps. C'est cette adéquation de l'interface aux besoins d'un I.M.C. que nous allons étudier ci-après, puisque l'objectif de l'ergonomie est bien d'adapter le travail à l'homme et non l'inverse.

Il existe aujourd'hui de nombreux guides d'ergonomie, tels que [Scapin D.L.] , [ Schneiderman 1987 ] , [ Coutaz 1990] , mais les critères et conseils présents dans ces guides sont généralement destinés à la conception d'interfaces pour personnes valides. Nous allons donc reprendre ces conseils et critères, pour les appliquer, les adapter et formuler ainsi un ensemble de recommandations pour la conception d'interfaces destinées à des enfants infirmes moteurs cérébraux. Remarquons en passant que malgré l'existence de ces nombreux guides, des études ont montré qu'en pratique, seulement une minorité de concepteurs les consultaient [ de Souza 1990 ] .

La qualité d'une interface peut s'évaluer par la facilité avec laquelle un utilisateur peut transformer les variables psychologiques ( qui lui sont propres ) en variables physiques ( propres au système informatique ) pour ce qui est de l'exécution d'une tâche, et la transformation inverse pour ce qui est de l'évaluation d'une tâche effectuée. Mais la qualité d'une interface peut aussi s'évaluer à l'aide des critères suivants : le temps d'apprentissage, la rapidité d'exécution, le taux d'erreurs, la période de



rémanence, et la satisfaction subjective à utiliser le logiciel. Dans un premier temps, nous analyserons les principaux critères que le concepteur d'interfaces doit prendre en considération, en particulier lorsqu'on lui demande de créer une interface pour des enfants I.M.C. . Nous étudierons ensuite les styles d'interaction pour terminer sur quelques mots à propos du rôle de la couleur.

### 3.1 Critères d'évaluation d'une interface

#### 3.1.1 Le temps d'apprentissage

Le temps d'apprentissage pour un enfant I.M.C. ne doit pas être trop important. En effet, ces enfants à cause de leurs déficiences, doivent parfois fournir des efforts importants pour réaliser un simple geste. Si la tâche à réaliser exige un apprentissage important, l'enfant risque de se démotiver car il n'observe pas l'aboutissement de ses efforts, et juge alors ceux-ci comme inutiles. Cette démotivation peut même pousser l'enfant à refuser d'utiliser le logiciel ultérieurement. Au contraire, si le temps d'apprentissage est relativement court, l'enfant après quelques tentatives peut vérifier sa progression dans la tâche qu'il réalise, il n'en sera que plus satisfait, et motivé pour poursuivre ses efforts jusqu'à la réalisation complète de la tâche.

#### 3.1.2 La rapidité d'exécution

La rapidité d'exécution est le temps nécessaire à la réalisation de la tâche. Ce temps importe peu pour une population d'enfants I.M.C. . En effet, ces enfants prennent souvent beaucoup de temps, soit pour appuyer sur la bonne touche du clavier, soit pour positionner correctement le pointeur de la souris ou d'un autre contacteur à un endroit précis. Ainsi, même si le logiciel est très performant, l'entrée des données, ou les positionnements à l'écran vont allonger considérablement la durée de la tâche.

### 3.1.3 Le taux d'erreurs

a) La fréquence des erreurs : l'imprécision des gestes d'un enfant I.M.C. , peut augmenter fortement la fréquence des erreurs : appui sur une touche adjacente à la touche désirée sur le clavier, positionnement du pointeur à un endroit incorrect, relâchement trop hâtif du bouton du contacteur. Ces erreurs, ne doivent pas perturber ni décourager l'enfant dans la progression de sa tâche.

b) Le temps de correction : la correction d'une erreur doit être aisée; par exemple, attendre l'entrée correcte de ce qui est demandé, ou possibilité de revenir facilement en arrière. L'enfant ne doit jamais être acculer dans une situation quelconque.

### 3.1.4 La période de rémanence

Cette période de rémanence est une fonction directe de l'effort cognitif requis pour planifier une séquence d'actions, et c'est une fonction indirecte du temps d'apprentissage et de la fréquence d'utilisation. Nous avons dit ci-dessus que même si l'apprentissage est court, l'enfant doit parfois fournir des efforts importants pour réaliser certaines tâches, ce qui accroît fortement la durée d'apprentissage. Il importe donc de ne pas devoir recommencer régulièrement cet apprentissage; en conséquence, on veillera à ce que la période de rémanence soit la plus grande possible.

### 3.1.5 La satisfaction subjective à utiliser le logiciel

Cet élément est primordial pour un enfant I.M.C. , en effet, il importe à l'enfant infirme de retirer, malgré parfois de nombreux efforts infructueux, une satisfaction et un plaisir à utiliser un logiciel, qu'il puisse observer ses progrès lors d'utilisations successives, et apprécier les multiples possibilités d'autonomie que lui offre l'ordinateur : communication, jeu, apprentissage ...

J'ai pu constater pendant mon stage, l'amusement et la motivation qu'avaient les enfants à utiliser leurs logiciels.

### 3.2 Critères ergonomiques empiriques de design

#### 3.2.1 La cohérence

La cohérence doit être présente partout dans l'interface : pour des tâches semblables, on retrouvera des éléments semblables. Ainsi doit-on rechercher une présentation identique des écrans, pour des tâches identiques, des commandes identiques pour effectuer des opérations identiques. L'enfant I.M.C. , comme nous l'avons déjà souligné, souffre de troubles perceptifs : qu'advierait-il donc, si cet enfant, souhaitant réaliser deux fois successivement la même tâche, ne retrouvait pas chaque fois telle information à tel endroit sur l'écran, et telle commande à tel autre ? Un manque de cohérence risque de perturber et de ralentir l'enfant dans ce qu'il réalise, le conduisant à déployer des efforts considérables pour remédier à ce défaut.

#### 3.2.2 La concision

Etre bref et expressif. Les commandes, menus et autres doivent être compréhensibles pour les enfants et le moniteur qui les assiste. Les écrans ne doivent pas être surchargés, souvent avec des informations étrangères à la tâche concernée. Il faut utiliser un minimum d'informations qui distraient le moins possible l'enfant dans sa tâche. Pour diminuer la charge de mémoire à court terme, il est préférable de réduire le nombre d'informations à retenir, plutôt que d'augmenter la quantité d'informations affichées sur l'écran. Pour les enfants I.M.C. , dont certains ne savent pas lire, on préférera l'utilisation d'icônes, de dessins, plutôt que du texte. Ces icônes et ces dessins, devront être 'accessibles' aux enfants infirmes, c'est-à-dire ni trop complexes, ni trop simples, mais suffisamment clairs et expressifs. On réservera l'emploi de texte dans les menus, et commandes pour le moniteur, afin par exemple d'ajuster la valeur des paramètres, ou de consulter une aide. L'emploi de raccourcis pour les commandes des enfants ne paraît pas indispensable, ils s'adressent surtout à des utilisateurs expérimentés, maîtrisant parfaitement le logiciel.

La taille des icônes et dessins est également très importante pour les enfants, ils doivent pouvoir aisément les localiser et y accéder.

### 3.2.3 La structuration des activités

Les activités doivent être organisées par complexité croissante. Ainsi, l'enfant I.M.C. peut débiter avec des tâches aisées, pour petit à petit accomplir des tâches plus difficiles. Car si dès le départ l'enfant est incapable d'accomplir la première tâche qu'on lui propose, il se sentira très vite découragé et démotivé pour poursuivre l'exploration du logiciel. Organiser l'ensemble des tâches en sous-tâches fermées avec buts, exécution, évaluation et fin, donnera à l'enfant un sentiment de travail accompli et de satisfaction. En effet on lui présente une tâche à réaliser, il l'accomplit, en évalue les résultats et peut ainsi observer l'adéquation de ces résultats avec ce qu'il souhaitait réaliser; il est alors à même de poursuivre avec la sous-tâche suivante.

Cette découpe en sous-tâches permet également de supprimer des tâches trop longues ou trop complexes, devant lesquelles l'enfant infirme serait très vite démotivé, car très souvent ces enfants ne peuvent se concentrer que très peu de temps.

### 3.2.4 Le retour d'information ( ' feedback ' en anglais )

L'utilisateur doit être averti à tout moment de l'état du système, mais aussi de sa progression dans la tâche qu'il accomplit. Il doit savoir ce qu'il peut faire dans telle situation, et ce qui lui est interdit. Pour les enfants I.M.C., ce feedback est nécessaire, ils peuvent visualiser le résultat de l'opération qu'ils viennent d'effectuer, et donc la valider ou l'invalidier. Ainsi, lorsque l'enfant va appuyer sur un bouton poussoir, ce dernier doit changer de couleur, de même dans les menus déroulants un item de menu en grisé avertit l'utilisateur qu'il ne peut l'utiliser. Avec les enfants, on observe également des réactions positives lorsqu'on ajoute au feedback visuel, un renforcement sonore. Ce feedback sonore peut permettre par exemple d'informer l'enfant de l'état d'avancement de la tâche qu'il réalise à ce moment. Il faut cependant bien choisir ces renforcements sonores, afin qu'ils ne deviennent pas pour l'enfant un élément perturbateur ou décourageant, mais au contraire une information qui guide et qui informe.

### 3.2.5 La gestion des erreurs

L'utilisateur doit être averti au plus tôt d'une erreur commise, et être informé de la procédure pour la corriger. Comme nous l'avons signalé en parlant du taux d'erreurs, la fréquence des erreurs commises par un enfant I.M.C. peut être élevée, mais ceci ne doit pas empêcher une gestion des erreurs assez simple. L'enfant sera averti lorsqu'il appuie sur une mauvaise touche ou ' clique ' à un mauvais endroit ( ' cliquer ', est l'action d'appuyer sur le bouton de la souris ou d'un autre contacteur, puis de relâcher l'appui aussitôt ). L'avertissement ne doit pas venir perturber l'enfant; par exemple si l'enfant appuie sur une mauvaise touche, il n'est pas nécessaire d'afficher un message tel que : "tu as appuyé sur une mauvaise touche" ; un ' bip ' sonore suffit. Dans d'autre cas, on affichera un message clair et compréhensible à propos de l'erreur commise, et au besoin la procédure de correction à réaliser.

Toute opération réalisée par l'enfant ne doit jamais mener à une situation 'catastrophe' , et donc chaque action devrait pouvoir être réversible. Cette réversibilité donnera un sentiment de confiance à l'enfant, qui sait ainsi que même s'il commet une erreur, l'ordinateur va lui 'pardonner' et l'autoriser à poursuivre sa tâche.

### 3.2.6 La flexibilité

Une interface devrait pouvoir s'ajuster aux variations des utilisateurs. Un utilisateur débutant ne requiert pas la même interface qu'un utilisateur expérimenté, l'interface doit donc pouvoir varier d'un utilisateur à l'autre. Mais au sein d'une population telle que les enfants I.M.C. , qui ont souvent une connaissance plus ou moins semblable de l'informatique, les utilisateurs sont cependant différents les uns des autres. Si deux enfants I.M.C. présentent des troubles totalement différents, l'un sachant parfaitement utiliser le clavier mais peu la souris, l'autre manipulant très bien la souris mais ne pouvant accéder au clavier, l'interface du logiciel qu'ils utilisent doit pouvoir s'adapter à chacun d'eux.

La flexibilité dans le cas des I.M.C. , est donc la capacité de l'interface à s'adapter aux troubles de chacun des enfants. L'interface doit

pouvoir permettre l'utilisation de divers dispositifs d'entrée, afin qu'un maximum d'enfants puissent l'utiliser.

### 3.3 Critères de l'utilisateur

Nous allons parler de deux critères, que le concepteur d'interface doit aussi prendre en considération : la motivation, et le niveau intellectuel. En effet, pour concevoir une interface, il faut non seulement analyser la tâche, mais aussi les futurs utilisateurs de cette interface, en particulier lorsque ceux-ci sont infirmes. Tout d'abord, il est bon que le concepteur connaisse les principaux troubles dont souffre la population à laquelle est destinée l'interface, dans notre cas les enfants I.M.C. ; l'interface n'en sera que plus efficace. Cette connaissance guidera certainement la tâche de conception, et réduira les erreurs qu'un concepteur non averti aurait commises.

#### 3.3.1 La motivation

Les enfants I.M.C. sont généralement très motivés pour utiliser des logiciels qui leur procurent de l'amusement et/ou un gain d'autonomie dans leur vie. Aussi sont-ils disposés à fournir parfois de nombreux efforts pour apprendre, et utiliser efficacement un logiciel. Comme nous l'avons déjà souligné dans le premier chapitre, la motivation influence les processus de mémorisation, nous voyons ici qu'elle influe aussi sur l'exécution d'une tâche par l'enfant. Cette motivation est nécessaire afin qu'un logiciel soit correctement et efficacement utilisé; or ce n'est pas toujours le cas, l'enfant se démotive face à une tâche ennuyeuse, ou trop complexe. Lorsqu'on présentera un logiciel à un enfant, on veillera donc à ce qu'il perçoive rapidement les possibilités offertes, et ce que le logiciel peut lui apporter, afin qu'il soit motivé pour l'utiliser.

#### 3.3.2 Le niveau intellectuel

Le concepteur d'interface pour enfants I.M.C. doit également s'intéresser à leur niveau intellectuel. Quel est l'intervalle de l'âge

chronologique, quel est l'intervalle de l'âge de développement des enfants ? Les enfants savent-ils lire, écrire, compter ? La population avec laquelle nous avons travaillé, rassemble des enfants ayant des retards parfois importants, et souvent, ils ne savent ni lire ni écrire. Le concepteur doit donc choisir, comme on l'a déjà dit, des représentations visuelles d'objets, des dessins, plutôt que du texte. Et ces représentations graphiques doivent être simples, accessibles à la majorité des enfants. En résumé, il faut veiller à utiliser des objets informatiques qui se confondent avec des objets sémantiques connus par l'enfant.

Voyons à présent quel(s) style(s) d'interaction il faut utiliser dans l'interface.

### 3.4 Les styles d'interaction

Parmi les styles d'interaction que l'on connaît : langage naturel, langage de commandes, langage de requêtes, langage graphique, menus, formulaires prédéfinis, touches de fonctions, question-réponse, manipulation directe; quelques uns seulement sont bien adaptés à une interface pour enfants infirmes moteurs cérébraux. Les raisons sont généralement d'énormes difficultés à utiliser le clavier comme dispositif d'entrée, et une méconnaissance de la lecture et de l'écriture. La manipulation directe et les menus semblent être deux solutions acceptables.

a) La manipulation directe permet à l'enfant d'agir directement sur les éléments affichés sur l'écran, et d'observer immédiatement le résultat. Par exemple, l'enfant appuie sur un bouton poussoir, et voit immédiatement que ce bouton change de couleur; il déplace un objet et observe immédiatement le résultat de son opération; il peut donc évaluer de suite le succès ou l'échec de son geste. La manipulation directe doit cependant satisfaire à quelques règles : la taille des objets affichés sur l'écran doit être suffisante pour que ceux-ci soient aisément localisables et manipulables par l'enfant (tout spécialement les boutons poussoirs, les boutons radio, les cases à cocher, les barres de défilement et leurs flèches). La disposition des informations et des commandes doit tenter de minimiser les déplacements que l'enfant devra réaliser.

b) Les menus sont également un style aisément utilisable par les enfants I.M.C. , ils demandent peu d'apprentissage et sont utilisables avec une multitude de dispositifs d'entrée possibles. Une attention particulière est nécessaire pour élaborer un menu pour ces enfants, on y mettra soit du texte simple, soit du texte avec une représentation graphique pour chaque item. De plus on évitera les organisations de menus trop compliquées, pour préférer une organisation linéaire ou une arborescence limitée à très peu de niveau.

J'ai pu observer pendant mon stage l'aisance avec laquelle certains enfants utilisaient les menus dans un traitement de texte, à l'aide d'un dispositif d'entrée particulier : la trackball, qui est munie d'une boule qui tourne, et de deux boutons dont un bloque le ' clic ' jusqu'au prochain appui sur ce même bouton.

Concernant le choix des menus, il faut tout d'abord analyser la tâche : la tâche exige-t-elle régulièrement des sélections répétées d'un même élément ou non, le menu peut-il recouvrir pendant un certain temps les informations affichées sur l'écran ? Des études menées par M. Macleod et P. Tillson sur la performance en terme de rapidité d'exécution et de feedback avec trois types de menus, ont montré que si la tâche exige des sélections successives d'un même item, les utilisateurs préfèrent utiliser des menus qui sont affichés en permanence, autrement, on préférera utiliser des menus déroulants [ Macleod 1990 ]. Pour ce qui nous concerne avec les enfants I.M.C. , on utilise généralement des menus déroulants pour la partie réservée au moniteur dans les interfaces.

Nous avons donc vu que certains styles d'interaction conviennent mieux que d'autres pour les enfants I.M.C. , mais n'oublions pas cependant que les styles choisis doivent permettre l'utilisation d'une panoplie de dispositifs d'entrée différents, car chaque enfant I.M.C. a ses troubles, qui ne sont pas les mêmes que ceux d'un autre enfant.

### 3.5 Le rôle de la couleur

Beaucoup de concepteurs aiment à introduire des couleurs vives dans l'interface pour l'embellir, mais il faut savoir que la couleur n'est pas toujours un élément positif dans une interface. Une recherche effectuée par



F.L. van Nes, J.F. Juola et R.J.A.M. Moonen sur le phénomène d'attraction ou de distraction de la couleur dans un texte indique que dans certains cas, la couleur peut distraire, voire perturber l'utilisateur dans sa tâche. [van Nes 1987 ]. La couleur est en effet un critère supplémentaire que l'utilisateur doit prendre en considération lors d'une tâche de recherche, et cela ne semble pas aussi aisé qu'il n'en paraît. J'ai pu observer à l'Hôpital de Bicêtre des enfants pratiquant des tâches de recherche avec un logiciel particulier dans lequel on proposait à l'enfant des figures géométriques différentes ( rond, carré, triangle ), chaque figure avait une taille ( grand, moyen, petit ), et une couleur (rouge, bleu, jaune). L'enfant devait réaliser des sériations comme par exemple :

- on donne un grand rond rouge, un grand rond jaune, l'enfant doit rechercher un grand rond bleu pour compléter la série
- on donne un petit triangle jaune, un moyen triangle jaune, l'enfant doit rechercher un grand triangle jaune pour compléter la série.

L'enfant dans ces tâches doit tenir compte de trois critères : forme, taille, couleur, or on observait régulièrement des enfants qui ne prenaient en considération qu'un ou deux critères simultanément, jamais les trois.

Il faut donc veiller à ce que la couleur ne soit pas un critère excédentaire pour l'enfant, qui ne peut tenir compte simultanément que d'un nombre limité de critères.

On remarque également parfois des images de couleurs vives dans l'interface, images qui sont étrangères à la tâche, elles embellissent certainement l'interface, mais perturbent, distraient l'enfant dans la tâche qu'il accomplit. Mais rien n'empêche de colorier certains stimulus avec des couleurs ' douces '.

En guise de conclusion de ce chapitre, nous retiendrons qu'une interface dans tous ses aspects, pour des enfants I.M.C. doit être la plus flexible possible, dans le sens où elle doit permettre à un maximum d'enfants ayant des troubles différents de l'utiliser.

Le chapitre suivant va nous montrer une application concrète de ces problèmes d'ergonomie, et une mise en pratique des divers éléments cités précédemment, dans la construction du logiciel ERGOLAB.

## **Chapitre 4 : Le logiciel ERGOLAB**

### **4.1 Introduction**

Le logiciel ERGOLAB a été développé à l'Hôpital de Bicêtre, en région parisienne, dans le service de rééducation I.M.C. du docteur D. Truscelli, avec une équipe pluridisciplinaire : un informaticien, une ergothérapeute ou psychomotricienne, et une psychologue. Dans ce chapitre, nous parlerons tout d'abord du matériel choisi, du logiciel utilisé pour concevoir ERGOLAB ( Hypercard et son langage Hypertalk ), puis de l'évolution du cahier des charges pendant le stage. Ensuite, nous décrirons la structure globale du logiciel, et la classification des exercices, pour terminer en parlant des mesures effectuées dans le logiciel, de l'ergonomie de son interface, et des perspectives d'avenir pour le logiciel.

### **4.2 Le matériel choisi**

Nous avons choisi de développer l'application ERGOLAB, avec du matériel Macintosh. La raison primordiale est que le service I.M.C. de Bicêtre est équipé uniquement de matériel Apple : Apple II GS, Macintosh Plus, Macintosh LC, et bénéficie d'avantages importants auprès de cette firme : assistance technique, prêt de matériel etc. L'utilisation de matériel de même marque assure une compatibilité pour les logiciels, permettant ainsi de réutiliser les très nombreux logiciels pour ordinateurs Apple II GS avec le matériel Macintosh actuel : Macintosh Classic, LC ... De plus, une panoplie de dispositifs d'entrée particuliers, destinée à améliorer l'accès aux ordinateurs Apple a été développée, et équipe déjà la plupart des centres de rééducation en France. Nous pouvons ajouter à ces raisons, la convivialité de l'interface du Macintosh, et sa facilité d'utilisation pour un utilisateur débutant. Cependant, le logiciel aurait très bien pu être développé sur un autre type d'ordinateur, PC-IBM, compatible, Amiga de

Commodore, ou autre, car l'application ne nécessite pas des qualités graphiques et sonores spéciales.

Au sein de la gamme d'ordinateurs Apple qui équipent le service I.M.C. de Bicêtre, notre choix s'est porté sur le Macintosh LC, car il était le seul à présenter une capacité mémoire et une rapidité de traitement suffisantes; il possède en plus une qualité sonore excellente. L'ordinateur Macintosh LC, tout comme les Macintosh de la gamme II ( II ci, II fx, II si ) est un ordinateur modulaire, c'est-à-dire qu'il n'est pas équipé en série d'un écran, comme le sont certains ordinateurs tels que le Macintosh Classic ou Classic II, ou encore le Macintosh Plus. Aussi, l'utilisateur peut-il choisir la dimension de l'écran qu'il souhaite : 12, 13, 15, 19, 21 pouces. Très souvent, l'utilisateur va choisir un écran de 13 pouces ( l'écran RVB haute résolution Applecolor d'Apple ), car l'écran 12 pouces est semblable aux écrans 9 pouces des Macintosh Compacts (Classic, Classic II ou Plus). Les écrans de 15, 19 ou 21 pouces, sont quant à eux destinés à des tâches plus spécifiques : Conception Assistée par Ordinateur, Dessin Assisté par Ordinateur ou autre Production Assistée par Ordinateur. Les écrans des Macintosh LC de l'Hôpital de Bicêtre sont de type couleur, 13 pouces. Nous avons donc conçu le programme pour cette taille d'écran, rejetant ainsi la possibilité d'utiliser le logiciel ERGOLAB sur des Macintosh Compacts, équipés eux d'écrans 9 pouces. C'est une des limitations dont nous reparlerons lorsque nous évoquerons les contraintes du logiciel Hypercard.

Quelques éléments techniques à présent sur l'ordinateur Macintosh LC. Le Macintosh LC combine deux caractéristiques importantes : la couleur, et un prix abordable. Avec un processeur Motorola 68020 à 16 bits, cadencé à 16 Mhz, le LC possède des performances identiques à celles du premier Macintosh II. Il possède une mémoire ROM ( Read Only Memory ) de 512 Ko ( Kilo octets ), qui contient Quickdraw 32 bits ( outil de gestion des couleurs ), et la vidéo intégrée. Ajoutons à cela une mémoire vive ( RAM ) de 2 Mo ( Méga octets) soudée sur la plaque de base. Cette mémoire vive peut être étendue jusqu'à 10 Mo à l'aide de barrettes de 1 Mo, 2 Mo ou 4 Mo, que l'on insère dans deux emplacements réservés à cet effet. Il est équipé à l'achat d'un disque dur dont la capacité varie selon les modèles, et d'un lecteur de disquettes 3,5 pouces Apple SuperDrive. Ce lecteur permet de lire aussi bien des

disquettes 400 Ko, 800 Ko et 1,4 Mo au format Macintosh que les disquettes au format MS-DOS, OS/2 ou ProDos. Concernant la connexion de matériel périphérique, le LC possède un système de vidéo intégrée qui permet de raccorder directement différents types d'écrans, une entrée son monophonique qui permet la numérisation sur 8 bits à 22 Mhz ou 11 Mhz avec un taux de compression de 1/3 ou 1/6, à l'aide d'un microphone livré avec l'ordinateur. Au total, le LC est pourvu de 8 connecteurs libres, permettant la connexion de toute une panoplie de périphériques possibles. L'équipement de l'ordinateur Macintosh LC permet donc un traitement performant des documents dans lesquels l'utilisateur peut introduire de la couleur et du son.

#### 4.3 Hypercard et le langage Hypertalk

Hypercard est un outil d'organisation de l'information qui permet de consulter, d'organiser ou de créer tout type d'information : textes, graphiques, images animées, images digitalisées, sons, voix etc. L'information est organisée en écrans successifs, qui peuvent contenir des images, des sons, du texte, des chiffres, et que l'on appelle une ' carte '. Une carte se compose des informations en avant-plan de l'écran, et des informations situées en arrière-plan de l'écran, sur le ' fond '. Les cartes sont enregistrées les unes à la suite des autres, pour constituer une ' pile ' de cartes. Dans une pile, les cartes sont disposées en boucle, ce qui signifie qu'après la ' dernière ' carte, on revient à la ' première '. On peut relier toutes ces informations entre elles dans Hypercard, en établissant des liens de toute nature entre les cartes et les piles, de façon à pouvoir les retrouver avec le degré de précision souhaité. Ces liens sont inscrits dans des ' champs ' et des ' boutons '. Les champs sont des zones qui contiennent des variables ou du texte; les boutons quant à eux permettent d'établir des liens et de déclencher des actions; ces boutons sont définis par une zone qui quand on ' clique ' dessus, déclenche une action, ce sont les zones ' sensibles ' de l'écran.

Hypercard est un outil idéal pour développer des prototypes d'interfaces ou de réelles interfaces, ou encore pour réaliser des présentations qui peuvent être très simples ou très spectaculaires.

Hypertalk est le langage de programmation de l'environnement Hypercard. Il permet de relier entre eux les différents objets ( boutons, champs, cartes, fonds, piles ) et de contrôler le fonctionnement de chacun. C'est un langage événementiel, et chaque objet voit son fonctionnement réglé par la survenance d'événements. Tous les objets communiquent entre eux par échanges de messages. La réaction d'un objet à un message qu'il reçoit est commandée par son script, écrit en langage Hypertalk. Nous allons décrire ci-dessous les trois concepts d'objet, de message et de script.

Les objets : Hypercard utilise cinq types d'objets, qui ont chacun leurs propres propriétés : les boutons, les champs, les cartes, les fonds, et les piles. L'unité élémentaire d'information est la carte. Chaque carte est associée à un fond qui, le plus souvent, est commun à plusieurs cartes; et comme nous l'avons dit précédemment, une carte se superpose sur son fond. Les boutons et les champs appartiennent soit à une carte, soit à un fond. La figure 4.1 illustre chacun des cinq types d'objets.

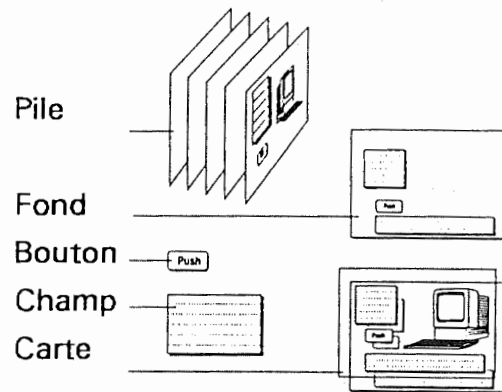


Figure 4.1 : Les objets d'Hypercard

Les cinq types d'objets d'Hypercard se classent selon une hiérarchie naturelle : les boutons et les champs se situent au même niveau, viennent ensuite la carte, puis le fond, la pile, la pile de base ( contenant tous les scripts pré-programmés ) et enfin Hypercard lui-même. Nous reparlerons de cette hiérarchie lorsque nous évoquerons la transmission des messages entre objets.

Les messages : les objets Hypercard communiquent entre eux, mais aussi avec l'utilisateur, le programme Hypercard, et l'environnement complet du Macintosh au moyen de messages. Différents objets peuvent recevoir un message à tour de rôle, selon leur position dans la hiérarchie des objets, et la nature du message. Cependant, un objet n'interceptera un message que s'il possède un script qui est à même de traiter ce message. Ainsi par exemple, un message signalant un ' clic ' de l'utilisateur est envoyé tout d'abord au bouton ou au champ se trouvant immédiatement sous le pointeur de la souris. S'il n'est pas traité par ce bouton ou ce champ, il sera ensuite transmis à la carte, puis au fond, à la pile, à la pile de base et enfin à Hypercard. La figure 4.2 représente cette hiérarchie de transmission des messages entre objets.

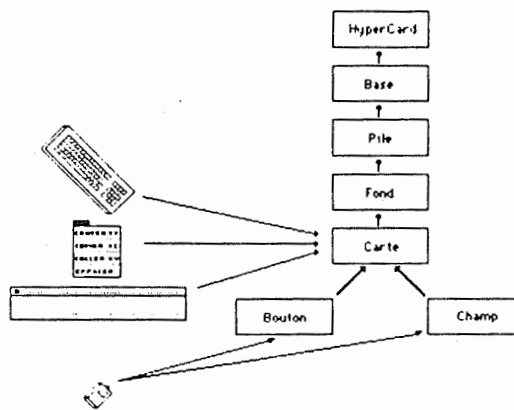


Figure 4.2 : La hiérarchie de transmission des messages

Sauf à l'aide d'une commande Hypertalk particulière, dès qu'un objet est 'capable' de traiter un message, ce dernier ne poursuit pas son chemin dans les éléments supérieurs de la hiérarchie.

Les scripts : un script contient un certain nombre de procédures de gestion de messages, écrites avec des instructions Hypertalk. On peut associer un script à tout objet d'Hypercard. Par exemple, une procédure élémentaire de gestion du ' clic ' souris, que l'on pourrait associer à un bouton, peut avoir la forme suivante :

*On MouseUp*  
*Go to next card*  
*End MouseUp*

Cette procédure indique que si l'utilisateur ' clique ' sur ce bouton, Hypercard envoie à ce dernier le message ' MouseUp '. Le bouton vérifie alors si son script contient une procédure pouvant gérer ce message. Si tel est le cas, il exécute la procédure ( toutes les instructions Hypertalk comprises entre le ' On MouseUp ' et ' End MouseUp ' ). Une fois la procédure exécutée, le message ne va pas plus loin. En revanche, si le script du bouton ne contient pas la procédure de gestion correspondante, le message est transmis à l'objet suivant dans la hiérarchie ( la carte ) et ainsi de suite. Un autre exemple illustre la puissance d'Hypercard, mais aussi un esprit de programmation différent des langages classiques : si l'on souhaite que chaque carte d'un même fond possède un bouton de commande ' OK ', on placera une fois ce bouton sur le fond, et non sur chacune des cartes de ce fond. De même, si l'on souhaite que toutes les cartes d'une pile réagissent de la même manière à un message donné, on placera le script contenant la procédure de gestion de ce message, dans le script du fond si la pile ne contient qu'un seul fond, ou dans le script de la pile dans le cas contraire.

Nous observons ainsi la similitude du fonctionnement d'Hypercard avec celui d'un langage orienté objet : on a un ensemble d'objets, certains étant des objets simples, d'autres une agrégation d'objets simples pour former un objet plus complexe. Ces objets communiquent entre eux via des messages pour se demander mutuellement des services. Cela nous amène à conclure, en disant que certains auteurs qualifient Hypercard d'environnement de programmation orienté-objet, tandis que d'autres parlent d'environnement de programmation semi orienté-objet. Parlons à présent des possibilités et des contraintes d'Hypercard.

#### 4.3.1 Possibilités

Hypercard permet de créer très rapidement et facilement des interfaces pour différents logiciels. Ainsi, il permet d'associer des informations textuelles avec des éléments graphiques et sonores

conduisant donc à la réalisation d'interfaces de type multi-média, de plus en plus nombreuses de nos jours. Nous avons évoqué ci-dessus le moyen de relier entre elles ces diverses informations à l'aide du langage Hypertalk. Très souvent on développera avec Hypercard des interfaces dont le style d'interaction est la manipulation directe associé ou non avec un langage de menu. Il est en effet possible en Hypercard de gérer des menus, avec des instructions du langage Hypertalk et des commandes ou fonctions externes prédéfinies, et réalisées avec un autre langage : C, Assembler ... Ces nombreuses commandes externes ( XCMD ), ou fonctions externes (XFCN), permettent aussi la gestion d'éléments tels que fenêtres, tableaux, champs de texte complexes, variables de l'environnement Hypercard; gestion qui uniquement à l'aide des instructions Hypertalk aurait été impossible, ou très difficile à réaliser.

Lors de la conception d'une interface, on peut aisément créer, supprimer, transformer chacun des objets Hypercard : pile, fond, carte, bouton et champ, et leur associer des scripts ou procédures de gestion de messages grâce à un éditeur de scripts très simple à manipuler. Par la suite, on ajoutera à cette interface du son, des graphiques, on créera des fenêtres de différents types, des menus déroulants etc. Hypercard est donc un outil adapté à la création par exemple de prototypes d'une application qui permettent un dialogue aisé entre informaticiens et utilisateurs, et de rendre compte très rapidement de la faisabilité et des performances d'une tâche quelconque. Mais l'outil Hypercard permet également de créer de réelles interfaces pour un logiciel donné, et il en existe bon nombre aujourd'hui.

Hypercard est généralement un outil bien connu des utilisateurs du Macintosh, car cet outil est fourni avec la livraison de l'ordinateur, il est donc très répandu, et est de plus relativement aisé à utiliser, c'est la raison principale de son choix pour construire le logiciel ERGOLAB. Hypercard et son langage Hypertalk présentent toutefois quelques contraintes que nous allons analyser ci-après.

#### 4.3.2 Les contraintes

\* La contrainte majeure du logiciel Hypercard, que nous avons évoquée en parlant du matériel choisi, est la non prise en considération par



Hypercard de la taille de l'écran utilisé. Ainsi, si l'on développe une interface avec un écran 13 pouces, en disposant les informations sur toute la surface de cet écran, et que l'on tente d'utiliser cette même interface avec un écran 9 pouces ou 12 pouces, une partie des informations est cachée ( les informations situées à droite de l'écran, et les informations situées en bas de l'écran ). On peut cependant visualiser ces informations en utilisant une palette de navigation Hypercard, mais cette technique n'est pas très commode pour un usage régulier de l'interface. Il n'existe pas de programmes utilitaires, propre à Hypercard ou à un autre environnement, permettant de réorganiser automatiquement les informations affichées sur un écran, et donc le concepteur qui souhaite développer une interface utilisable tant sur un écran 9 pouces, que 13 pouces, devra créer deux interfaces distinctes, l'une pour l'écran 9 pouces, l'autre pour l'écran 13 pouces. Nous avons été confrontés à cette limitation d'Hypercard, et nous avons choisi d'utiliser un écran 13 pouces pour diverses raisons :

- ce type d'écran est très répandu dans les centres de rééducation possédant des ordinateurs Macintosh LC.
- un écran 13 pouces permet d'utiliser des informations de taille plus grande que celle utilisée avec un écran 9 pouces. Ceci est très utile lorsqu'on sait que souvent les enfants I.M.C. ont des troubles de perception visuelle. On ne saura donc pas, de manière commode, utiliser le logiciel ERGOLAB avec des écrans 9 pouces ou 12 pouces.

\* Dans un menu, lorsqu'on ne peut utiliser un item de menu à un instant donné, cet item apparaît dans le menu avec une teinte grisée, signalant que cet item n'est pas disponible. De même, avec les boutons poussoirs. Par exemple si l'on prend la boîte de dialogue d'ouverture d'un fichier sur Macintosh, le bouton poussoir ' Ejecter ' apparaîtra en grisé, s'il n'y a aucune disquette dans le lecteur. En Hypercard, il est possible de mettre un item de menu en grisé, puis de le remettre en ' clair ', mais cela n'est pas possible pour un bouton poussoir. La solution alternative est alors de cacher le bouton lorsque l'utilisateur n'est pas autorisé à l'utiliser, et de l'afficher dans le cas contraire. Cependant, en agissant de cette manière, l'utilisateur ne connaît pas toutes les possibilités qui existent puisque les boutons non accessibles ne sont pas affichés. Ceci reste limité

aux boutons que l'on crée avec Hypercard, et ne concerne donc pas les boutons des boîtes de dialogue standards du Macintosh.

\* L'utilisation d'images, de graphiques dans Hypercard n'est pas très aisée. Une image ou un graphique, n'est pas considéré comme un objet au même titre qu'un bouton ou un champ. Il est facile de dimensionner et positionner précisément un bouton ou un champ, dans l'espace de l'écran. Ces mêmes opérations sont assez complexes à réaliser avec du graphisme; en effet, toute image en Hypercard n'est pas vectorielle, entraînant ainsi des difficultés de manipulation : sélection, agrandissement ou rétrécissement, déplacement, positionnement etc. Pour pallier à cette complexité, le concepteur peut utiliser des icônes qu'il associera à un bouton poussoir, même si la taille de ces icônes ne peut dépasser une certaine limite imposée par Hypercard.

\* L'utilisation de la couleur dans Hypercard est assez restreinte : il est permis d'intégrer des images couleurs dans une pile d'information, mais la gestion des couleurs à l'aide d'instructions Hypertalk n'existe pas; du moins pour les versions 2.0 ou antérieures d'Hypercard. De nouveaux produits tel que Supercard, permettent cette gestion des couleurs par programmation, de même que l'utilisation d'images vectorielles.

\* Si le concepteur souhaite créer une tâche de navigation sur une image dont la taille est supérieure à la taille de l'écran, en utilisant des barres et des flèches de défilement, il devra utiliser des fenêtres de défilement, et non des champs de type défilement. Car ces champs de type défilement comme les champs dont nous avons parlé précédemment, ne peuvent contenir que des caractères ( lettre, chiffre, ponctuation ). De plus, ils n'autorisent qu'un défilement vertical et non un défilement vertical et horizontal. Une simulation de défilement horizontal avec un champ renfermant du texte est néanmoins possible, en employant des astuces particulières.

\* Nous avons dit précédemment qu'il était possible en Hypercard de gérer les fenêtres simples ou avec défilement. Cependant, ces fenêtres sont conformes aux fenêtres standards du système Macintosh, contenant donc des barres et des flèches de défilement, de tailles relativement petites. Diverses solutions existent pour accroître cette taille.

\* L'utilisation de la souris, ou d'un autre dispositif d'entrée, dans les logiciels pour Macintosh, est très répandue. Chaque déplacement du

dispositif d'entrée sur la table de travail est représenté à l'écran, à l'aide d'un curseur pouvant avoir différents aspects. En Hypercard, le curseur utilisé par défaut est une main dont le pouce et l'index sont droits, les autres doigts étant repliés sous la main, comme le montre la figure 4.3 .



Figure 4.3 : Le curseur utilisé en Hypercard

Cette main convient parfaitement à tous les utilisateurs ' réguliers ' du Macintosh et des interfaces Hypercard. Cependant, un curseur ne possède qu'un seul point ' actif ' parmi les nombreux points qui le composent et seules les coordonnées de ce point ' actif ' sont prises en considération lorsque l'utilisateur déplace la souris, ou ' clique ' sur le bouton de cette souris. Or, avec le pointeur en forme de main, illustré ci-dessus, le point 'actif ' ne se situe pas au centre de la main, mais à l'extrémité de l'index qui est allongé. Ainsi, des tâches de positionnement puis de ' clic ' sur des boutons poussoirs par exemple, réalisées par un utilisateur non averti, peuvent parfois poser certains problèmes comme le montrent les exemples ci-dessous :

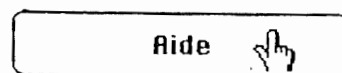


Figure 4.4 : Le ' clic ' sur le bouton est valide, toute la main est à l'intérieur de la surface 'sensible ' du bouton

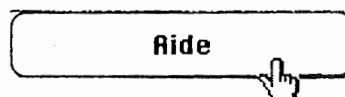


Figure 4.5 : Le ' clic ' sur le bouton est valide, bien qu'une partie de la main soit en dehors du bouton, mais le point 'actif ' du curseur est à l'intérieur de la surface ' sensible ' du bouton

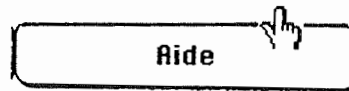


Figure 4.6 : Le ' clic ' sur le bouton n'est pas valide : une partie de la main est à l'intérieur de la surface ' sensible ' du bouton, mais le point ' actif ' du curseur est quant à lui à l'extérieur

Il est possible de modifier l'aspect du curseur par programmation, ce qui peut ainsi permettre de remédier au petit problème illustré ci-dessus. Cependant, si le concepteur choisit pour les zones ' sensibles ' des boutons et des champs, des tailles satisfaisantes, ce problème de point 'actif' du curseur n'apparaîtra que très rarement, voire pas du tout. De plus, l'expérience aidant, l'utilisateur valide ou non maîtrisera très vite cette particularité.

\* Il est possible en Hypercard de travailler directement à l'écran, ou indirectement par programmation, en différents modes :

- mode navigation : permettant l'appui sur les zones ' sensibles ' de l'écran ( boutons poussoirs, champs de texte ).
- mode sélection : permettant la sélection puis la manipulation des boutons ou des champs.
- mode dessin : permettant de dessiner tout ce qu'on souhaite.

Cependant seul le mode navigation permet aux objets Hypercard de recevoir ou d'émettre des messages. En d'autres mots, si l'utilisateur se trouve en mode dessin et qu'il appuie et/ou relâche le bouton de la souris sur un bouton poussoir, aucun message d'appui et/ou relâchement ne sera transmis au bouton poussoir ni aux autres objets de la hiérarchie Hypercard. Ceci peut poser parfois certains problèmes.

Ce sont donc les principales contraintes rencontrées avec l'environnement Hypercard, mais soulignons que dans bien des cas, des astuces permettent d'y remédier.

#### 4.4 L'évolution du cahier des charges pendant le stage

##### 4.4.1 Le cahier des charges initial

L'objectif du logiciel était la construction d'un ensemble d'exercices qui permettraient d'observer et de mesurer les performances d'un enfant dans différentes tâches telles que par exemple la réponse à un stimulus affiché sur l'écran, l'appui prolongé sur le bouton du contacteur, l'utilisation d'un balayage automatique et le choix de la vitesse de balayage optimale, la précision dans la manipulation du contacteur sur la table de travail pour désigner une zone précise sur l'écran, ou déplacer des objets sur l'écran, l'utilisation de systèmes de défilement pour rechercher et afficher des informations 'cachées'. Le niveau cognitif variera dans les différents exercices pour observer d'éventuelles erreurs d'ordre psychologique. Le thérapeute pourra également observer les manipulations que l'enfant réalise, et son degré d'anticipation dans les différentes tâches proposées. Enfin, le logiciel ERGOLAB doit permettre au moniteur (l'ergothérapeute ou une autre personne qui assiste l'enfant) de choisir les logiciels et le matériel les mieux adaptés pour chaque enfant. Il s'agirait donc d'un logiciel d'évaluation et non d'un logiciel d'apprentissage.

Pendant le premier mois de stage, un cahier des charges initial a donc été élaboré, en collaboration avec Mme Charrière, ergothérapeute, Mme de Barbot, psychologue, et moi-même. Ce cahier des charges décrivait la structure générale du logiciel à développer : le logiciel serait une pile Hypercard, contenant une introduction, une aide, et trois grandes étapes correspondant à des niveaux de difficultés croissantes :

- Etape 1 : commande digitale, où l'utilisateur devrait simplement appuyer sur le bouton de la souris ou d'un autre contacteur, sans déplacement nécessaire.
- Etape 2 : commande analogique et gestion de l'espace deux dimensions, où l'utilisateur devrait non seulement appuyer sur le bouton du contacteur, mais aussi maîtriser le déplacement du curseur sur l'écran; toutes les informations utiles étant affichées.
- Etape 3 : commande analogique et gestion de l'espace trois dimensions, avec appui sur le bouton du contacteur, maîtrise du déplacement du curseur sur l'écran, et où seulement une partie des informations utiles sont

affichées, les autres étant cachées, mais accessibles par des systèmes de défilement.

Chaque étape comporterait trois niveaux de difficultés croissantes, correspondant à une série d'exercices dans lesquels on va moduler les compétences de contrôle moteur, de perception visuelle et les aptitudes au raisonnement sur des informations visuelles.

Pour chaque exercice existera une phase de test, dans laquelle des mesures seront effectuées, mais aussi une phase d'entraînement, qui permettra à l'enfant d'observer et d'expérimenter les tâches qui lui seront proposées en phase de test. Dans cette phase d'entraînement, dont la durée ne sera pas limitée dans le temps, on donnera éventuellement des clés pour comprendre, on graduera l'apprentissage, et on s'assurera de la maîtrise d'un niveau de contrôle perceptivo-moteur avant de complexifier l'exercice sur un plan particulier. Le moniteur, qui assiste l'enfant, pourra également pendant cette phase d'entraînement ajuster la valeur de certains paramètres. Cette phase d'entraînement ne devra pas être obligatoire, et l'enfant pourra débuter directement dans la phase de test, permettant ainsi d'évaluer une adaptation immédiate, ou la mémorisation d'un apprentissage antérieur. Pour chaque exercice, on effectuera au besoin :

- des mesures de temps :
  - \* durée globale de l'entraînement
  - \* durée globale du test
  - \* temps de réaction moyen pour obtenir le résultat correct et calcul de l'écart type
  - \* temps d'appui moyen sur le bouton du contacteur et calcul de l'écart type
- des mesures de résultats rapportées au nombre d'erreurs pouvant se décomposer en :
  - \* nombre d'erreurs de temps : appui au mauvais moment
  - \* nombre d'erreurs de localisation : appui au mauvais endroit

Ces résultats seront visibles à la fin de chaque exercice de test et pourront être listés dans une fiche récapitulative de résultats. Tout résultat ou toute fiche pourra être imprimée, et assortie de commentaires sur le(s) test(s) réalisé(s). Pour certains exercices, des copies d'écran des exercices du test seront possibles.

#### 4.4.2 Les prototypes de départ

Sur base de ce cahier des charges décrit ci-dessus, nous avons créé des prototypes d'exercices, qui ont tous été expérimentés avec plusieurs enfants. Ces expérimentations révélaient l'adéquation ou l'inadéquation d'un type d'exercice, illustraient la complexité de la tâche proposée à l'enfant, et dégageaient les mesures qui étaient utiles, de celles qui ne l'étaient pas. Le fait d'expérimenter les prototypes avec des enfants présentant des troubles différents, nous a aussi permis d'observer tous les éléments qui seraient nécessaires, et la disposition des informations sur l'écran, pour la version finale de chaque exercice.

#### 4.4.3 Elaboration de la structure globale, finale du logiciel

Partant de la structure initiale décrite dans le cahier des charges au départ, le premier objectif fixé était de créer au moins un exercice pour chaque niveau de chaque étape, soit au total neuf exercices différents. Mais en développant peu à peu un prototype pour chaque exercice, les expérimentations avec les enfants ont montré souvent le besoin de tantôt créer un exercice plus simple que l'exercice du prototype pour un niveau donné, tantôt un exercice plus complexe pour un autre niveau. Pour ne citer que quelques exemples dans l'étape 1, pour le niveau 1, nous avons conçu un prototype d'exercice dans lequel on demandait à l'enfant d'appuyer sur le contacteur dès qu'une image simple s'affichait à l'écran, les images étant différentes les unes des autres. En observant les expériences réalisées avec les enfants, il s'est avéré utile de construire un exercice semblable mais dans lequel on affichait toujours la même image successivement. De même pour ce type d'exercice, il s'est avéré utile de mesurer le temps d'appui moyen sur le contacteur, et le nombre d'appui lorsqu'aucune image n'était affichée. Dans le niveau 3 de l'étape 1, nous

avons créé un prototype de balayage automatique, avec un tableau de 16 cases ( 4 lignes et 4 colonnes ), dans lequel l'enfant devait appuyer lorsque la case de balayage entourait la case contenant un stimulus simple. Le moniteur pouvait modifier le type de balayage utilisé, et la vitesse de balayage. Après expérimentation, nous avons constaté qu'il était utile de créer un exercice préliminaire réalisant un balayage automatique sur une seule ligne de 6 cases, permettant ainsi un meilleur réglage de la vitesse de balayage; de même il s'est avéré utile de pouvoir donner la possibilité à l'enfant de démarrer lui-même le balayage automatique. Ainsi donc, au fil du temps nous avons ajouté divers exercices, et même créé une étape supplémentaire appelée pré-étape, qui est en quelque sorte un pré-requis pour pouvoir réaliser les trois étapes suivantes. De neuf exercices imaginés initialement, nous avons créé un total de vingt exercices constituant la version finale du logiciel. Il a été aussi décidé d'enregistrer sur support (disque ou disquette) les résultats des tests réalisés par l'enfant lors de chaque séance.

Analysons à présent plus en détail la structure globale du logiciel.

#### 4.5 La structure globale du logiciel

Il y a cinq parties importantes dans le logiciel ERGOLAB : le signalétique enfant, les modules d'introduction et d'aide générale, le menu général, l'ensemble des exercices, et l'aide contextuelle. Nous allons décrire successivement ces cinq parties, mais signalons dès à présent que lorsque l'utilisateur du logiciel souhaite réaliser une phase de test ou d'entraînement pour un exercice donné, il doit préalablement effectuer trois choix : il doit choisir une étape, dans cette étape un niveau d'exercice, et dans ce niveau choisir parmi le(s) exercice(s) proposé(s) celui qu'il désire. On peut rapprocher cette technique de sélection de la technique de parcours d'un arbre, dans lequel on débute par la racine puis on descend dans les branches de l'arbre pour visiter les différents éléments, et enfin terminer par les feuilles de l'arbre contenant les vingt exercices proposés dans le logiciel. Remarquons qu'ERGOLAB renferme en définitive deux types d'interface : une interface pour les enfants, constituée de tous les écrans des exercices, et une interface réservée au moniteur, contenant le



signalétique enfant, les modules d'introduction et d'aide générale, l'aide contextuelle, le menu général, les écrans de sélection d'exercices, et les écrans de résultats des tests.

#### 4.5.1 Le signalétique enfant

Il reprend quelques informations importantes pour l'évaluation d'un enfant. Il contient le nom, prénom de l'enfant, son âge (âge chronologique), son niveau scolaire, et enfin son expérience informatique. Cfr figure 4.7.

**Signalétique de l'enfant**

Nom Prénom :

Age (années,mois) :

Niveau scolaire :   
France : Jd'E - PS - MS - GS - CP - CE1...  
Belgique : G1 - G2 - G3 - P1 - P2 - P3 ...

Expérience informatique :   
0 : Aucune  
1 : Utilisation occasionnelle  
2 : Utilisation régulière  
3 : Expert

Figure 4.7 : Le signalétique enfant

Ce signalétique va permettre de personnaliser les fiches de résultats affichées à l'écran, et que le moniteur peut imprimer. En effet, toutes les informations contenues dans ce signalétique seront reproduites tant sur la fiche de résultat d'un test, que sur la fiche globale de résultats reprenant tous les tests réalisés par l'enfant pendant une séance. De même, on personnalisera également les copies d'écrans de certains exercices.

Cette personnalisation des résultats permet au thérapeute de classer et comparer les résultats d'un enfant lors des utilisations régulières du logiciel ERGOLAB, et d'apprécier ainsi les progrès réalisés par cet enfant.

Le moniteur n'est pas obligé de remplir ce signalétique en début de séance, il pourra le faire ultérieurement, où qu'il se trouve dans le logiciel, par une simple sélection d'un item de menu. Cette possibilité de pouvoir à tout moment afficher le signalétique, permet au moniteur le cas échéant, de corriger les erreurs commises lors du remplissage initial.

#### 4.5.2 Les modules d'introduction et d'aide générale

Ces deux modules fournissent au moniteur des informations d'intérêt général à propos du logiciel ERGOLAB. Le module d'introduction explique l'objectif du logiciel, ainsi que sa structure globale. Le module d'aide générale, informe le thérapeute sur diverses possibilités du logiciel : existence d'une aide contextuelle, possibilité de réaliser des copies d'écrans, comment quitter le programme, comment arrêter un exercice en cours etc. Ces deux modules complètent l'aide contextuelle.

#### 4.5.3 Le menu général

Le menu général est l'axe central du logiciel ERGOLAB; en effet, il est affiché avant chaque choix d'exercice, à la fin de chaque test réalisé, et aussi lorsque le moniteur décide d'interrompre un exercice en phase de test, ou en phase d'entraînement; bref, il est le point de départ de tous les tests. Il est constitué de 13 boutons poussoirs :

- un bouton pour l'exercice de la pré-étape
- trois boutons pour les trois niveaux de l'étape 1
- trois boutons pour les trois niveaux de l'étape 2
- trois boutons pour les trois niveaux de l'étape 3
- un bouton permettant de consulter l'aide contextuelle
- un bouton permettant de quitter le programme
- un bouton permettant de consulter la fiche récapitulative des résultats

Ce dernier bouton n'est pas visible lorsque la fiche récapitulative des résultats ne contient encore aucune mesure.

La figure 4.8 illustre la structure du menu général, tel qu'il est affiché sur l'écran.

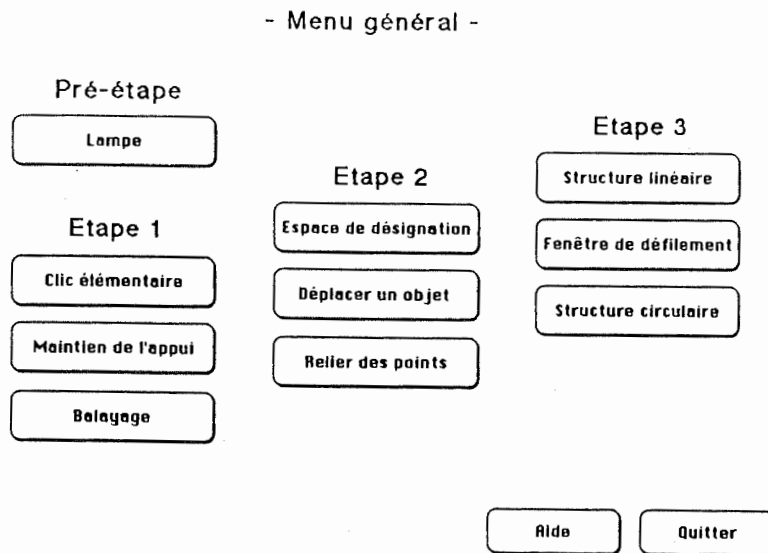


Figure 4.8 : Le menu général

La disposition en escalier des différentes étapes illustre la complexité croissante. Les trois boutons poussoirs étrangers à la sélection des exercices, sont rangés dans le fond de l'écran afin de maintenir une certaine cohérence entre les différents écrans du logiciel.

#### 4.5.4 L'ensemble des exercices

ERGOLAB comme nous l'avons dit totalise une vingtaine d'exercices différents. Ils sont répartis dans les différents niveaux des trois étapes, et dans la pré-étape. Nous étudierons davantage cette répartition lorsque nous parlerons de la classification des exercices. Expliquons ici la procédure de sélection lorsque l'utilisateur choisit un exercice. Cette procédure est identique quelque soit l'exercice désiré, excepté pour l'exercice de la pré-étape. Dans chacune des trois étapes, le moniteur sélectionne dans le menu général, le niveau qui l'intéresse en ' cliquant ' sur le bouton poussoir correspondant; apparaît alors un autre écran contenant l'étape et le niveau choisi, et un champ de texte contenant le(s)

différent(s) exercice(s) de ce niveau pour cette étape. La figure 4.9 illustre ce type d'écran

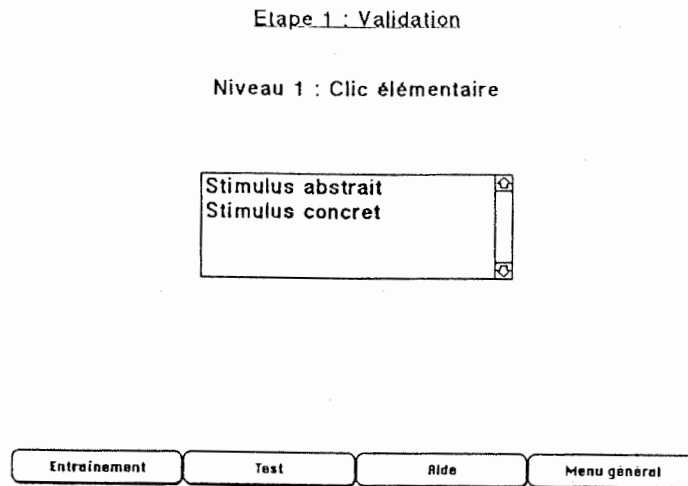


Figure 4.9 : L'écran de choix d'un exercice

Les quatre boutons poussoirs en bas de l'écran, n'apparaissent que lorsque le moniteur a ' cliqué ' sur l'intitulé d'un exercice. Le thérapeute choisit donc parmi ces quatre possibilités qui lui sont offertes : le bouton ' Menu général ' permet de ré-afficher le menu général dont on a parlé précédemment, le bouton ' Aide ' permet de consulter l'aide contextuelle, et les boutons ' Entraînement ' et ' Test ' permettent de débiter une phase d'entraînement ou une phase de test. On peut identifier une phase d'entraînement par la présence d'un fond gris sur l'écran, et des boutons poussoirs en bas de l'écran ( pour gêner le moins possible l'enfant ), tandis que dans une phase de test, le fond de l'écran est blanc et les boutons poussoirs en bas de l'écran ne sont plus affichés. L'utilisation d'un fond de couleur différente pour les phases d'entraînement et de test, permet à l'enfant de bien distinguer le moment où il s'entraîne, du moment où il réalise le test.

En entraînement, il n'y a plus que trois possibilités offertes au moniteur : retourner au menu général, consulter l'aide contextuelle sur l'exercice de l'entraînement, ou débiter le test. Ces boutons occupent bien sûr les mêmes positions que les boutons correspondant dans l'écran de sélection d'un exercice pour une étape et un niveau donné illustré ci-dessus. La

figure 4.10 illustre un exemple d'écran pour une phase d'entraînement, tandis que la figure 4.11 illustre le même exercice, mais en phase de test.

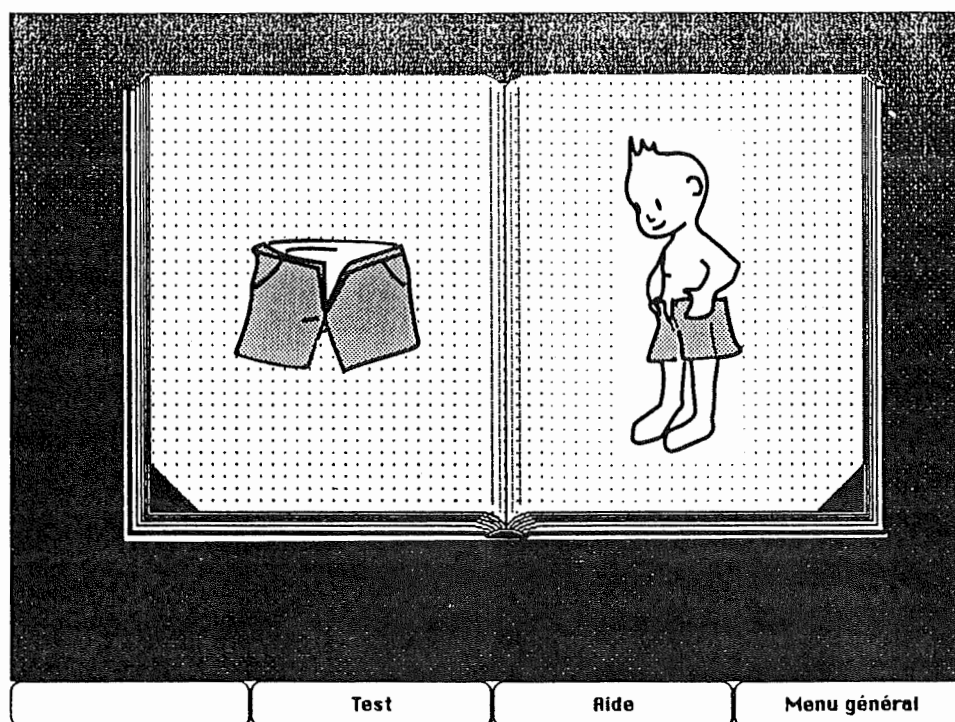


Figure 4.10 : Phase d'entraînement pour l'exercice 1 du niveau Structure linéaire de l'étape 3

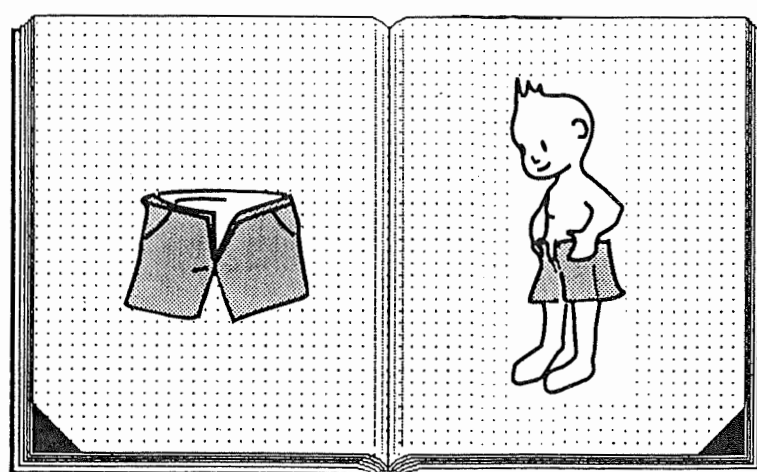


Figure 4.11 : Phase de test pour l'exercice 1 du niveau Structure linéaire de l'étape 3

Pour chaque exercice, les tâches proposées à l'enfant en phase de test, sont identiques pour tous les enfants, permettant ainsi une comparaison possible entre enfants. Dans certains exercices, la phase d'entraînement varie d'un enfant à l'autre, principalement dans les positions des objets de la tâche à réaliser.

#### 4.5.5 L'aide contextuelle

Cette aide contextuelle fournit au moniteur des informations concernant chacun des vingt exercices du logiciel. Chaque page d'aide contient le titre de l'exercice, l'étape et le niveau dans lequel on se trouve, toute une série d'informations sur cet exercice dont les mesures qui sont effectuées, un indicateur de progression en bas de l'écran, indiquant où l'on se trouve dans l'aide par rapport à la fin, et qui est utile lorsque le moniteur consulte successivement toutes les pages d'aide. Il existe une page d'aide pour chacun des vingt exercices. Les boutons poussoirs en bas de l'écran représentent les différentes opérations possibles pour parcourir l'aide contextuelle. Nous avons de gauche à droite :

- bouton de retour à l'écran où le moniteur a appuyé sur le bouton 'Aide'
- bouton d'affichage de la première page de l'aide
- bouton d'affichage de la page précédente
- bouton d'affichage de la page suivante
- bouton d'affichage de la dernière page de l'aide.

Selon l'endroit de l'appui sur le bouton ' Aide ', certains de ces boutons poussoirs seront tantôt affichés, tantôt cachés. La figure 4.12 illustre un exemple d'une page de l'aide contextuelle.

Exercice : Stimulus abstrait

Etape : 1 Niveau : 1

L'enfant doit cliquer dès que la croix apparaît, et relâcher l'appui le plus vite possible.

La phase de test s'effectue avec une série de 10 affichages successifs.

**Mesures** : D.E. : durée d'entraînement.

D.T. : durée du test.

T.R. : temps de réponse moyen + écart-type.

T.A. : temps d'appui moyen sur le contacteur + écart-type.

Er1 : nombre d'appuis lorsque la croix n'est pas affichée.



2/20

Figure 4.12 : Exemple d'une page de l'aide contextuelle

L'appellation contextuelle signifie que les informations d'aide fournies au moniteur varient en fonction de l'endroit du programme où le moniteur a appuyé sur le bouton ' Aide '. L'ergothérapeute peut demander à consulter l'aide contextuelle à partir de trois types d'écran :

- l'écran d'affichage du menu général : le moniteur peut alors consulter l'entièreté de l'aide contextuelle
- les écrans de sélection d'un exercice dans un niveau d'une étape : le moniteur ne peut alors consulter que l'aide concernant le(s) exercice(s) de ce niveau dans cette étape
- les écrans d'entraînement ( présence d'un fond gris ) : le moniteur ne peut alors consulter que la page d'aide concernant l'exercice pour lequel il réalise une phase d'entraînement.

Illustrons ci-dessous ces trois cas, lorsque le moniteur appuie sur le bouton ' Aide ' en bas des écrans situés du côté gauche.

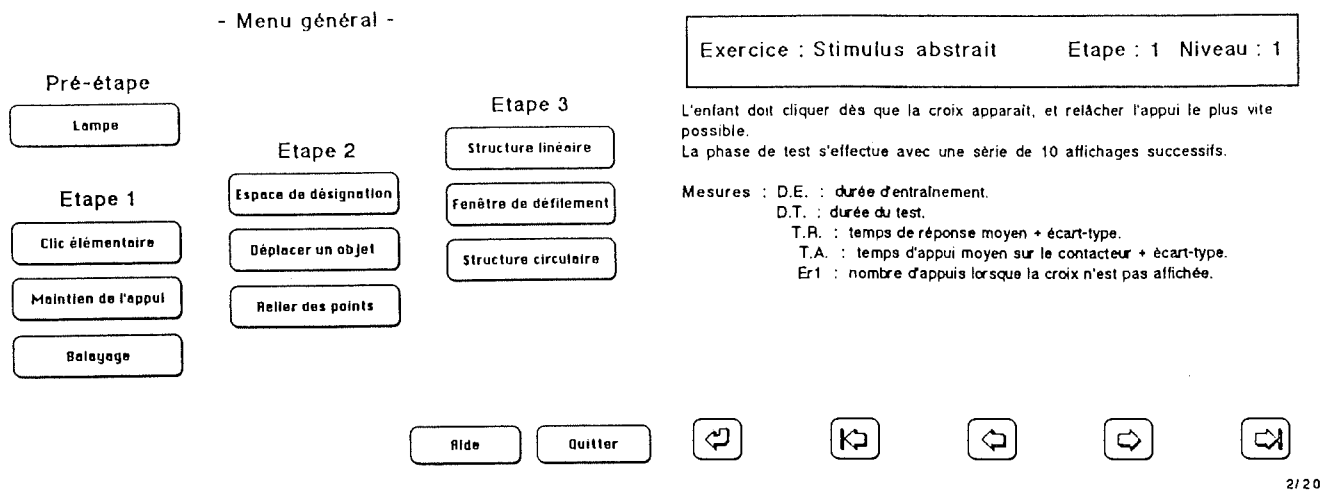


Figure 4.13 : Page d'aide affichée après avoir préalablement visualisé la première page de l'aide et appuyé sur le bouton pour afficher la page suivante.

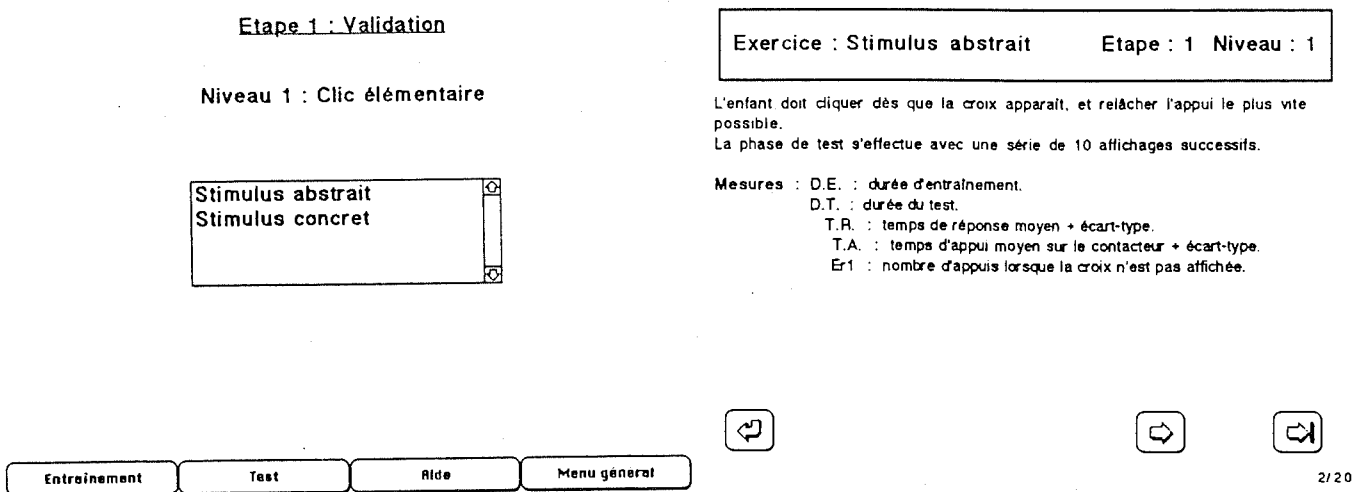


Figure 4.14 : Le moniteur peut consulter les pages 2 et 3 de l'aide, car ce niveau de cette étape ne contient que deux exercices.





exercices, le thérapeute pourra observer la coordination entre la perception visuelle et le geste moteur de l'enfant sur le dispositif d'entrée ( la souris ou un autre contacteur ). Généralement, on observe que beaucoup d'enfants I.M.C. ne réalisent souvent qu'une seule action à la fois : ils regardent l'écran, mais leur main n'est plus sur le contacteur, ou alors ils appuient sur le bouton du contacteur ou déplace ce dernier, et délaissent l'écran pour regarder leurs gestes sur le contacteur. Ce manque de coordination cause parfois certains problèmes lorsque l'enfant doit réagir dans un délai assez court.

Analysons plus précisément chaque étape, et la pré-étape.

#### 4.6.1 La pré-étape

Cette pré-étape est constituée d'un seul exercice, permettant d'observer si l'enfant comprend la relation de cause à effet élémentaire au travers de l'outil informatique. On présente à l'enfant un écran simple contenant l'image d'une lampe allumée. Lorsque l'enfant appuie sur le bouton du contacteur ( souris, trackball ... ), la lampe s'éteint et l'écran se noircit. Ainsi donc, l'enfant ' clique ' pour allumer et éteindre alternativement la lampe. L'enfant peut ainsi prendre conscience du résultat de son appui sur le contacteur. Cet exercice est très élémentaire, mais est parfois utile pour certains enfants. Aucune mesure n'est effectuée, seul le moniteur observe les réactions de l'enfant.

#### 4.6.2 L'étape 1 : l'appui sur le contacteur

Dans cette étape, l'enfant doit simplement agir sur le bouton du contacteur, sans devoir déplacer celui-ci sur la table de travail.

##### \* Niveau 1 : Clic élémentaire

Dans ce premier niveau, il s'agit de deux exercices dans lesquels on demande à l'enfant d'appuyer sur le bouton du contacteur dès qu'une image s'affiche sur l'écran. On quantifiera la vitesse de réaction qui est fonction du degré de vigilance de l'enfant.

Le premier exercice ( stimulus abstrait ) consiste à afficher successivement la même image, une croix noire au centre de l'écran. Le choix de la croix se justifie par sa simplicité de présentation, et son abstraction. Dans le second exercice ( stimulus concret ), les images varient : un ours, un bateau, un ordinateur ... Nous nous sommes limités à choisir des images simples que des enfants à partir de 3 ans sont capables d'identifier. Chaque enfant peut s'entraîner avant d'effectuer le test qui est constitué de dix affichages successifs d'une croix pour le premier exercice, ou d'une image concrète pour le second exercice. Le délai entre deux affichages successifs est aléatoire et varie de 1 à 5 secondes. Les mesures effectuées sont la durée de l'entraînement, la durée du test, le temps de réponse moyen et l'écart type, le temps d'appui moyen sur le contacteur et l'écart type, et le nombre d'appui lorsqu'aucune image n'était affichée. La figure 4.15 illustre le stimulus abstrait utilisé dans le premier exercice, et une image concrète utilisée dans le deuxième exercice.



Figure 4.15 : Exemples de stimulus utilisés

La réalisation de ces deux exercices par un enfant, va très souvent amener le moniteur à observer un temps de réponse moyen plus long dans le cas de stimulus concrets que dans le cas d'un stimulus abstrait. Ceci s'explique par le fait que les enfants observent un instant les images concrètes avant d'appuyer sur le contacteur; ce n'est généralement pas le cas avec un stimulus abstrait.

#### \* Niveau 2 : Maintien de l'appui

Ce niveau ne comporte qu'un seul exercice qui nous a été inspiré par un programme d'évaluation motrice, réalisé au Canada, et utilisable sur des

ordinateurs de type Apple II GS. Dans ce niveau, nous voulons observer la capacité d'un enfant à maintenir l'appui sur le contacteur pendant un certain temps, et la coordination visuelle et motrice de l'enfant. Chaque tâche proposée à l'enfant se présente de la manière suivante : un point origine et une zone de destination. L'enfant appuie sur le contacteur, et observe soit l'objet, placé au point de départ, qui se déplace vers la zone de destination, soit un trait partant du point de départ et qui se prolonge vers la zone de destination. Nous avons imaginé pour cela en phase d'entraînement des petites scènes dont une petite souris qui doit se déplacer vers son morceau de gruyère. En phase de test, nous avons préféré maintenir une certaine abstraction dans le dessin. Il y a bien sûr une marge de liberté autorisant l'enfant à relâcher l'appui à l'intérieur de la zone de destination. On mesure la durée de l'entraînement, la durée du test, le temps d'appui moyen et l'écart type, le nombre de relâchements avant la zone de destination, et le nombre de relâchements tardifs, c'est-à-dire lorsque l'enfant maintient l'appui alors qu'il a atteint la limite de la zone de destination. Les deux figures ci-dessous illustrent l'exercice utilisé en phase de test.

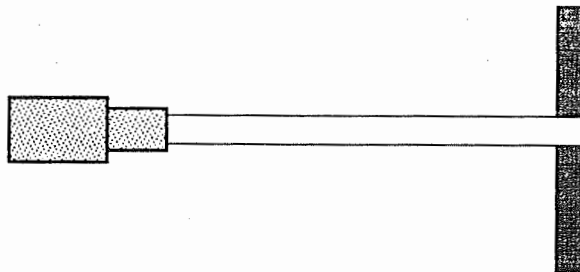


Figure 4.16 : Etat avant appui

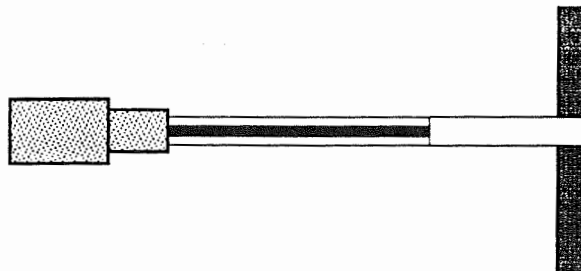


Figure 4.17 : Etat après appui pendant un certain temps

Ce type d'exercice est intéressant, car il permet de vérifier si les enfants I.M.C. sont capables d'utiliser par exemple des menus de type déroulant : avec des dispositifs d'entrée ne permettant pas de bloquer l'appui sur le bouton du contacteur, l'enfant doit, pour certains logiciels tel que Hypercard, maintenir l'appui pendant qu'il parcourt le menu déroulant, et relâcher une fois la sélection effectuée. Ou encore, dans des tâches de déplacements d'objets, l'enfant doit déplacer le curseur à l'écran, tout en devant maintenir l'appui pour déplacer l'objet.

**\* Niveau 3 : Balayage**

On mesurera dans ce niveau la vitesse de réaction de l'enfant, mais le moniteur observera surtout la vigilance de l'enfant et son aptitude à réagir pour arrêter le balayage au bon moment. Nous avons construit deux exercices, basés sur la technique du balayage automatique. Le balayage automatique consiste à ' sélectionner ' l'un après l'autre après un certain délai, chaque élément d'un ensemble. Lorsque l'élément 'sélectionné' par le balayage est l'élément souhaité par l'utilisateur, ce dernier appuie sur le contacteur, et l'opération associée à cet élément est automatiquement exécutée; sinon, l'utilisateur attend que l'ordinateur ' sélectionne ' l'élément désiré. La technique du balayage automatique est très souvent utilisée dans des interfaces destinées à des I.M.C., mais aussi à des personnes souffrant d'autres formes de handicaps. Elle permet en effet un accès à l'ordinateur aux personnes qui ne peuvent manipuler de façon plus ou moins précise un dispositif d'entrée pour déplacer le curseur à l'écran; le balayage automatique réalise pour eux l'équivalent du déplacement du curseur, et elles n'ont plus alors qu'à valider lorsque le curseur se trouve au bon endroit. Le paramètre le plus important dans cette technique, est la vitesse de balayage. Les deux exercices créés, regroupent chacun un ensemble de cases contiguës, affichées sur l'écran. Une de ces cases contient un stimulus ( notre petite croix utilisée dans le premier exercice du niveau 1 de l'étape 1 ), et l'enfant doit appuyer sur le contacteur lorsque la case ' sélectionnée ' par le balayage contient le stimulus.

Le balayage automatique ' sélectionne ' donc chaque élément l'un après l'autre, mais cette ' sélection ' peut s'opérer de différentes manières qui sont les différents types de balayage automatique :

- balayage séquentiel : on ' sélectionne ' l'une après l'autre une seule case
- balayage ligne/colonne : on ' sélectionne ' l'une après l'autre chaque ligne d'un tableau. Après un premier appui de l'utilisateur pour la ligne souhaitée, on ' sélectionne ' dans cette ligne chaque colonne l'une après l'autre, et l'on se ramène ainsi à un balayage séquentiel horizontal.
- balayage colonne/ligne : on ' sélectionne ' d'abord l'une après l'autre chaque colonne d'un tableau; après un premier appui, on ' sélectionne ' dans la colonne choisie chaque ligne l'une après l'autre comme dans un balayage séquentiel vertical
- balayage quadrangulaire : dans un tableau de 16 cases, on ' sélectionne ' tout d'abord les 4 cases dans le coin supérieur gauche du tableau; on 'sélectionne' ensuite les 4 cases situées dans le coin supérieur droit, puis les 4 cases dans le coin inférieur droit et enfin les 4 cases situées dans le coin inférieur gauche puis ainsi de suite. Après un premier appui, on réalise de nouveau un balayage quadrangulaire dans l'ensemble des 4 cases choisies, soit donc un ' mini ' balayage quadrangulaire. On ne rencontre pas très fréquemment ce type de balayage, mais il est bon de pouvoir l'évaluer avec les enfants car il existe dans certains logiciels.

Le premier exercice de ce niveau de balayage, est un balayage sur un ensemble de six cases disposées sur une même ligne. Le type de balayage est toujours séquentiel, et le moniteur peut ajuster à souhait pendant l'entraînement, la vitesse du balayage. De même, nous avons également prévu la possibilité de donner soit à l'enfant, soit à l'ordinateur, l'initiative du démarrage du balayage. Si l'ordinateur a l'initiative, le balayage démarre automatiquement, sinon, le balayage est bloqué sur la première case jusqu'au moment d'un premier appui de l'enfant sur le contacteur. Cette possibilité a été intégrée dans le logiciel suite à des observations réalisées avec des enfants, qui illustraient un problème lorsque le stimulus se trouvait dans la première case ' sélectionnée ' automatiquement par l'ordinateur. Par défaut le démarrage est à l'initiative de l'ordinateur. La figure 4.18 illustre l'exercice de balayage 6 cases en phase de test.

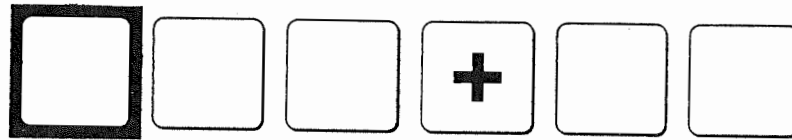


Figure 4.18 : Balayage 6 cases en phase de test

Le second exercice est un balayage sur un tableau de 16 cases. Le type de balayage par défaut, est le type ligne/colonne ( souvent utilisé dans les logiciels ), mais le moniteur peut en phase d'entraînement, choisir un autre type parmi les quatre décrits ci-dessus, il peut aussi ajuster la vitesse de balayage, et choisir de donner l'initiative du démarrage du balayage à l'ordinateur ( par défaut ), ou à l'enfant. Pour cet exercice, nous avons également offert à l'enfant, la possibilité, en cas d'erreur, d'appuyer sur une touche particulière du clavier pour redémarrer le balayage au point de départ. La figure 4.19 représente l'exercice de balayage 16 cases en phase d'entraînement ( fond gris ).

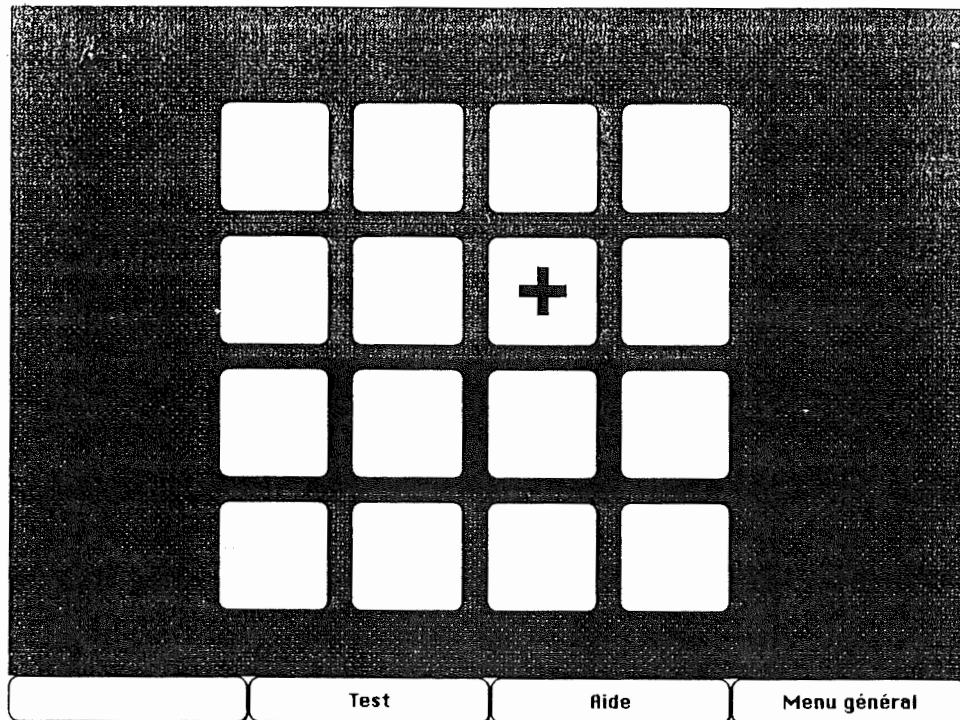


Figure 4.19 : Balayage 16 cases en phase d'entraînement

Pour les deux exercices de balayage, le moniteur peut donc, uniquement en phase d'entraînement, ajuster la valeur de certains paramètres, et cet ajustement demeurera valable pour la phase de test. Ces ajustements de paramètres se font à l'aide du menu déroulant ' Balayage ', créé pour ce niveau, et présent dans la barre de menu qui est affichée automatiquement et uniquement pour ce niveau 3 de l'étape 1, pendant la phase d'entraînement. Les principales mesures effectuées sont la durée de l'entraînement, la durée du test, et le nombre de réponses incorrectes (sélection d'une mauvaise case). On complète ces mesures par l'indication du type de balayage utilisé, de la vitesse choisie, et de l'initiateur du démarrage du balayage.

Quelques mots à présent sur le réglage de la vitesse de balayage. La sélection de l'item de menu ' Vitesse de balayage ' dans le menu ' Balayage ' affiche un écran particulier, où le moniteur peut incrémenter ou décrémenter la vitesse, tout en pouvant observer immédiatement chaque



variation, à l'aide d'un balayage séquentiel sur quatre cases. Le pallier d'incrémentation/décrémentation de la vitesse est de 0,25 seconde permettant ainsi un ajustement relativement précis de la vitesse de balayage. La vitesse proposée par défaut est de 2 secondes. La figure 4.20 ci-dessous illustre l'écran de réglage de la vitesse de balayage.

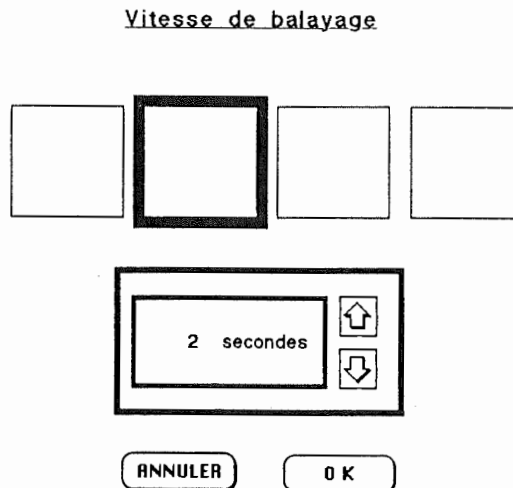


Figure 4.20 : Ecran de réglage de la vitesse de balayage

Ces deux exercices de balayage permettent au moniteur de choisir le meilleur type de balayage et la vitesse la mieux adaptée pour un enfant qui utilisera ultérieurement d'autres logiciels avec un balayage automatique.

#### 4.6.3 L'étape 2 : la navigation dans l'espace écran

Dans cette étape, les exercices proposés requièrent de la part de l'enfant une aptitude à pouvoir déplacer le curseur dans l'espace de l'écran, tantôt sans maintenir l'appui sur le bouton du contacteur, tantôt en devant maintenir l'appui. Le moniteur pourra donc observer l'efficacité gestuelle de l'enfant dont nous avons parlé dans le chapitre 1, et son aisance ou sa difficulté à déplacer puis à positionner correctement le curseur sur l'écran.

\* Niveau 1 : Espace de désignation

Nous allons dans ce niveau pouvoir observer et étudier l'habileté (vitesse et précision) avec laquelle l'enfant désigne une zone sur l'écran. Le premier exercice ' Cible de précision ' propose à l'enfant une succession de dix cibles, réparties dans l'espace de l'écran, et affichées une par une. Une cible est un ensemble de cinq carrés de grandeur différente. Cfr figure 4.21



Figure 4.21 : Un exemple de la cible utilisée

Le centre de la cible est alternativement mis en noir puis en blanc. Ce clignotement permet d'attirer l'attention de l'enfant, qui devra atteindre un maximum de fois le centre de la cible. A chaque ' clic ' de l'enfant, une cible disparaît, et une autre s'affiche à un endroit différent. En plus du clignotement du centre de la cible, nous avons choisi de modifier l'aspect du curseur lorsque celui-ci se trouve à l'intérieur du petit carré du centre de la cible, avertissant ainsi l'enfant de la position correcte ou incorrecte du curseur sur l'écran. On mesure la durée de l'entraînement, la durée du test, le nombre de ' clics ' dans le centre de la cible, le temps de réponse moyen, le temps d'appui moyen sur le contacteur et les écarts types, ainsi que le numéro du bouton à l'intérieur duquel l'enfant a ' cliqué ' au moins huit fois sur dix. Ce numéro de bouton sera mémorisé et utilisé plus tard si l'enfant réalise deux autres exercices dans l'étape 2 : l'exercice ' Dessin du parcours ' dans ce niveau 1 et l'exercice ' Relier des points ' dans le niveau 3. La position des dix cibles a été choisie au hasard, en essayant cependant d'avoir un certain équilibre dans l'occupation de l'espace écran.

Le second exercice du niveau 1 s'intitule ' Dessin du parcours '. Il illustre l'efficacité gestuelle de l'enfant dans le déplacement du curseur sur l'espace écran. Le moniteur place le curseur à un endroit pré-déterminé sur l'écran pour recouvrir la main qui est affichée, puis ' clique ' sur le dispositif d'entrée; le dessin de la main va disparaître, et un premier carré contenant un petit dessin s'affiche. L'enfant doit alors ' cliquer ' à l'intérieur de ce carré, puis répéter cette opération pour les trois autres carrés qui

vont s'afficher l'un après l'autre à des endroits différents de l'écran. L'ordinateur pendant ce temps mémorise le trajet effectué par l'enfant, et en fin d'exercice, va dessiner ce parcours en utilisant trois épaisseurs de trait différentes pour éviter toute confusion dans l'interprétation du résultat. Le moniteur pourra ultérieurement imprimer cet écran, et apprécier l'habileté de l'enfant. La figure 4.22 illustre l'emplacement des carrés sur l'écran, ainsi que le point de départ.

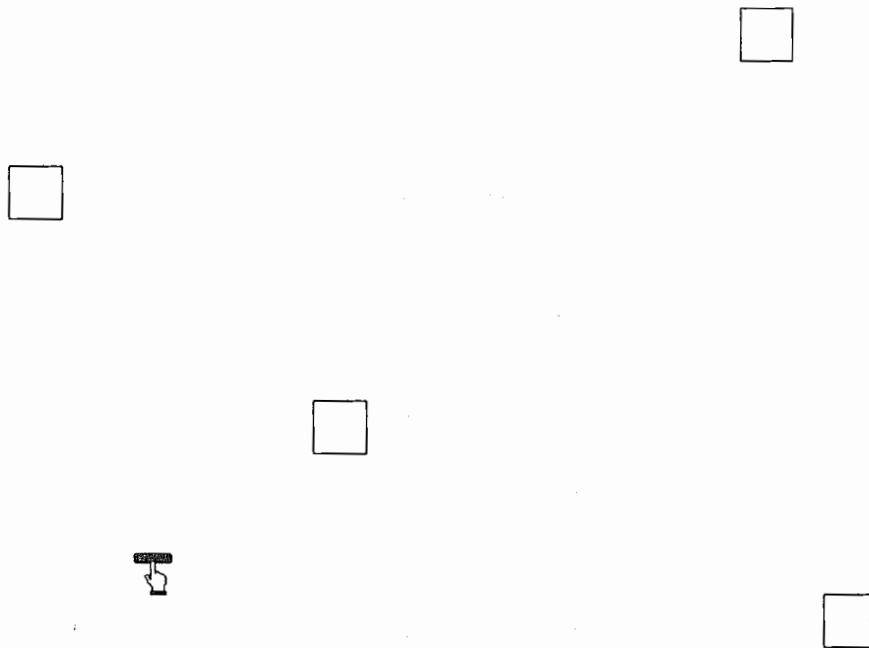


Figure 4.22 : Exercice de dessin du parcours

On mesure la durée du test, le temps de réponse moyen et l'écart type, ainsi que le nombre de ' clics ' hors des carrés.

La taille des carrés qui contiennent le dessin est variable, elle varie en effet en fonction de l'éventuel résultat obtenu par l'enfant dans l'exercice ' Cible de précision ' décrit précédemment. Si l'enfant a réalisé préalablement cet exercice de cible de précision, on choisira la taille du carré dans lequel l'enfant a ' cliqué ' au moins huit fois sur dix, sinon on choisira une taille moyenne par défaut.

Remarque : nous avons choisi pour cet exercice de ' Dessin du parcours ' de ne pas proposer la possibilité à l'enfant de s'entraîner, afin d'écarter toute forme d'apprentissage avant le test.

Les figures 4.23 et 4.24 illustrent deux exemples de résultat obtenu.

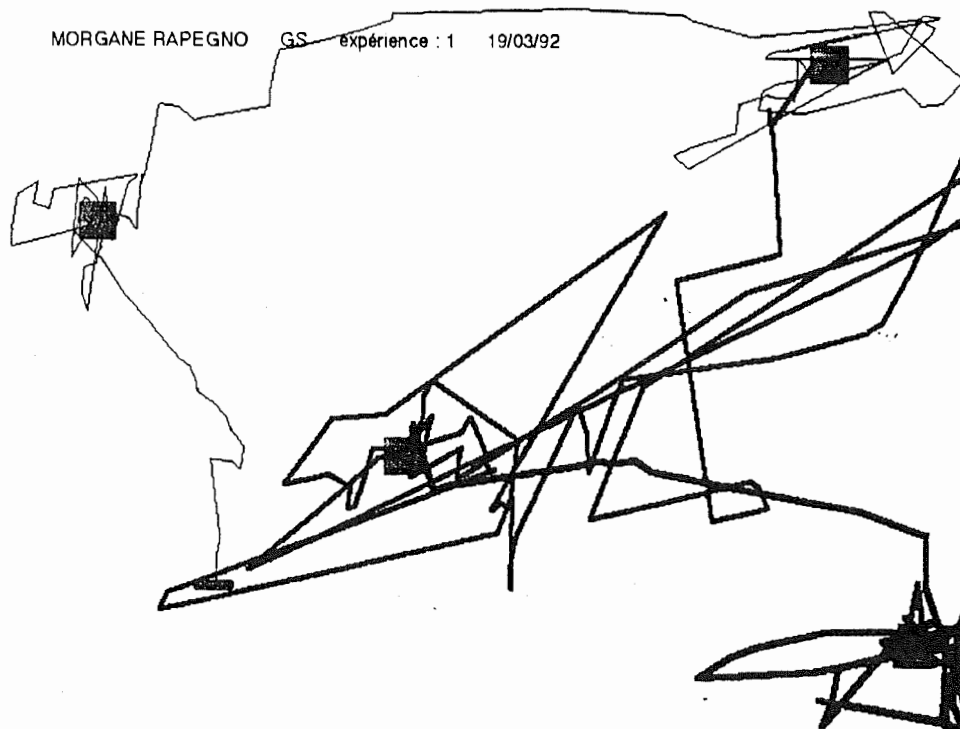


Figure 4.23 : Exemple de résultat obtenu

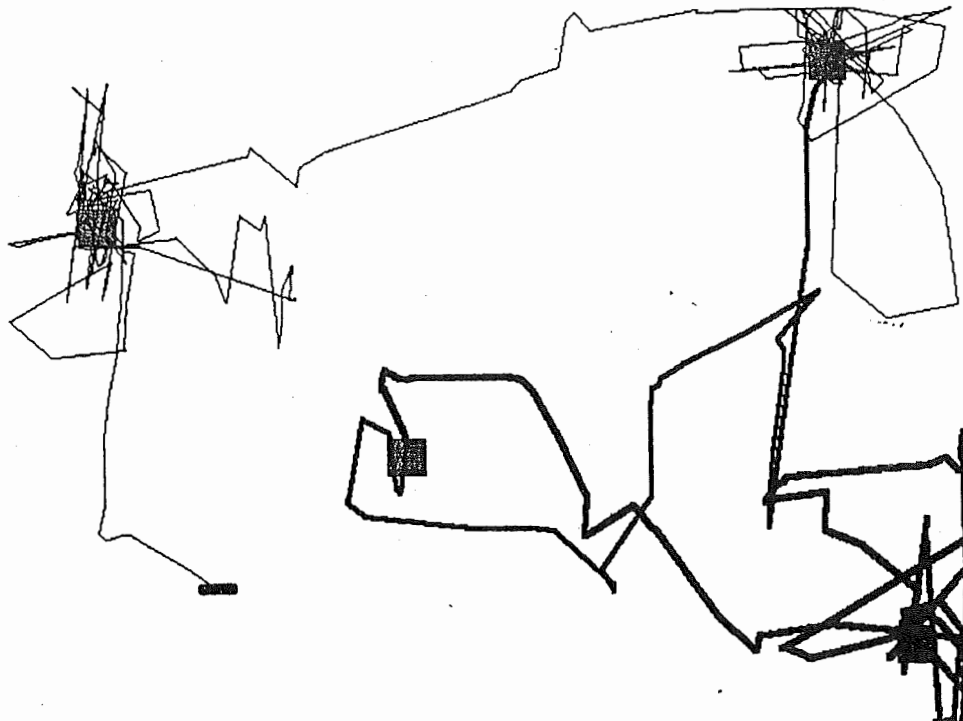


Figure 4.24 : Autre exemple de résultat obtenu

Il est intéressant pour le moniteur de proposer cet exercice à un enfant en faisant varier le type de dispositif d'entrée utilisé ( souris, trackball, joystick .... ) afin de repérer le dispositif le mieux adapté pour l'enfant.

**\* Niveau 2 : Déplacer un objet**

Dans ce niveau, on augmente peu à peu le niveau cognitif de la tâche, et le moniteur pourra observer non seulement d'éventuelles erreurs de manipulation du dispositif d'entrée, mais aussi des erreurs d'ordre cognitif ( confusion de figures géométriques ). Le moniteur observera également l'efficacité gestuelle de l'enfant qui doit dans ces exercices déplacer le curseur sur l'écran tout en maintenant l'appui sur le bouton du contacteur. Un ensemble d'exercices a été construit, dans lesquels l'enfant doit déplacer des objets, et les placer correctement aux endroits prévus. Pour chacun des exercices, le moniteur pourra imprimer les copies d'écrans des tests effectués.

Un premier exercice illustre un circuit automobile, dans lequel on a enlevé volontairement un morceau que l'on place au bas de l'écran. L'enfant devra saisir ce morceau et le replacer au bon endroit, tout en maintenant l'appui sur le contacteur pendant qu'il déplace l'objet à l'écran.

Le second exercice et le troisième exercice sont inspirés du célèbre test de la planche de Gesell. Dans ce test, l'enfant dispose d'une planche de bois, et de trois formes géométriques, un rond, un carré, un triangle. Il doit encastrier chacune des formes dans les endroits prévus sur la planche. Dans un premier temps, pour le deuxième exercice de ce niveau, on ne présente jamais à l'enfant qu'une seule forme à la fois, tandis que dans le troisième exercice de ce niveau, on présente directement les trois formes ensemble pour la réalisation d'un encastrement croisé. Les formes sont placées au dessus de la planche, l'enfant les saisit puis les déplace vers leur emplacement respectif sur la planche. Il ne peut superposer les formes les unes sur les autres. Il termine sa tâche, en validant son action par l'appui sur un bouton ' OK '. Le thérapeute pourra observer dans ces deux exercices le programme d'action et la stratégie utilisée par l'enfant pour 'encastrier' chaque figure, principalement dans l'exercice ' Gesell croisé ', où l'enfant doit réaliser un encastrement croisé. Pour certains enfants, cet encastrement croisé est complexe à réaliser, selon la stratégie visuelle

qu'ils utilisent. La figure 4.25 illustre l'exercice Gesell " simple " en phase de test, dans lequel on ne présente à l'enfant qu'une seule forme à la fois. La figure 4.26 illustre l'exercice Gesell " croisé " en phase test, où on présente directement les trois formes à l'enfant.

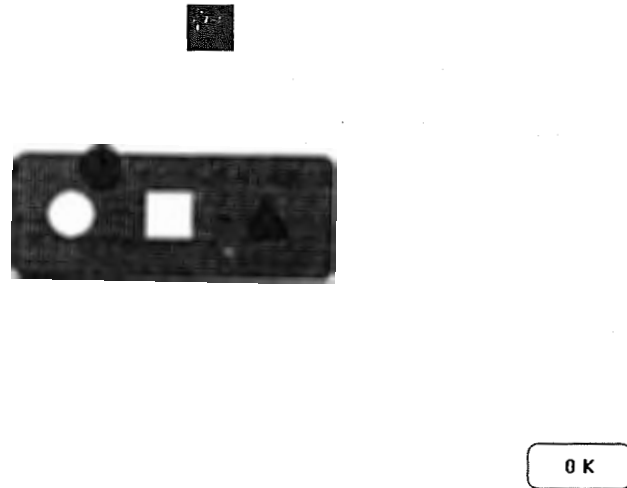


Figure 4.25 : Exercice Gesell " simple "

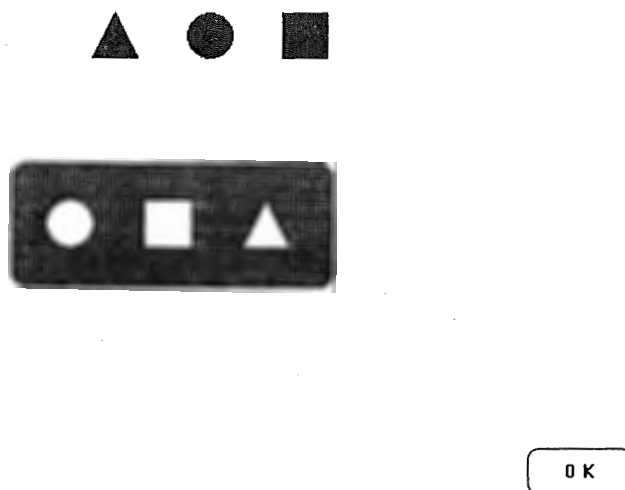


Figure 4.26 : Exercice Gesell " croisé "

Soulignons l'utilité de ces deux exercices avec la planche de Gesell, qui permettent une comparaison aisée entre les résultats du test informatique, et les résultats du test manuel.

Dans le quatrième exercice de ce niveau, l'enfant dispose en haut de l'écran de six formes différentes, inspirées des formes des tests du Terman-Merrill : un rond, un carré, un triangle, un ovale, un octogone (figure à huit côtés), et une forme quelconque. On présente à l'enfant une figure modèle dans une case à droite au milieu de l'écran; l'enfant doit saisir parmi l'ensemble des six formes proposées, la forme équivalente au modèle, et l'insérer dans la case à gauche au milieu de l'écran. Il peut déplacer plusieurs figures, mais ne peut les superposer sur le modèle, ni dans la case qu'il doit remplir. La figure 4.27 illustre l'écran en phase de test, avant tout déplacement. La figure 4.28 illustre une copie d'écran d'un exercice du test.

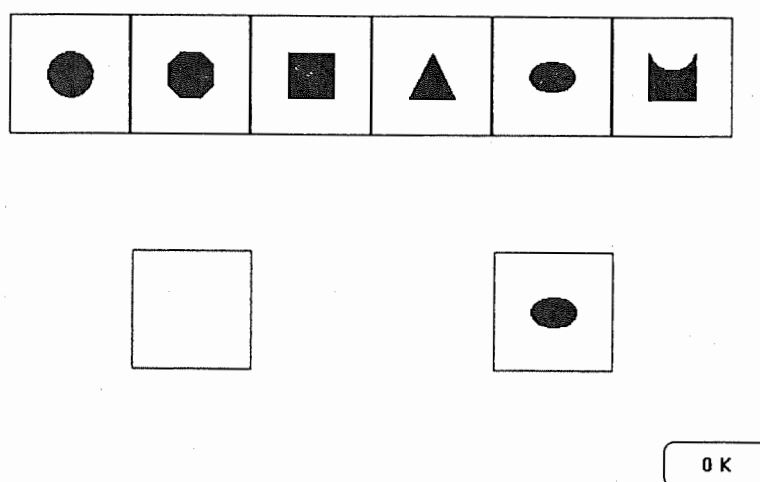


Figure 4.27 : Écran en début du test

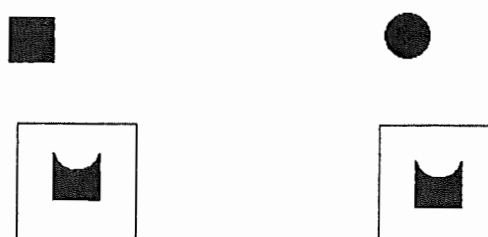


Figure 4.28 : Copie d'écran d'un exercice du test : la copie d'écran mentionne toutes les formes que l'enfant déplace

Il y a dans ces quatre exercices une marge de précision accordée à l'enfant concernant l'endroit où il doit placer l'objet. Pour chacun des exercices, on mesure principalement la durée de l'entraînement, la durée du test, le temps de réponse moyen et l'écart type, le temps d'appui moyen et l'écart type, ainsi que le nombre de fois que l'enfant relâche le bouton du contacteur avant chaque placement final d'un objet. Les copies d'écrans permettent au moniteur d'observer la précision de l'enfant, ainsi que les éventuelles erreurs commises ( confusion de figures ... ).

**\* Niveau 3 : Relier des points**

Il n'y a qu'un seul exercice dans ce niveau, dans lequel l'enfant doit relier des points entre eux, en maintenant l'appui sur le contacteur pendant qu'il déplace le curseur à l'écran pour tracer un trait entre les points. Il peut à tout moment effacer le(s) trait(s) déjà effectué(s), en appuyant sur le bouton poussoir ' Annuler ' en bas de l'écran. L'ordinateur pendant chaque exercice de la phase de test, mémorise le parcours réalisé par l'enfant pour joindre les points, et retrace après validation par l'enfant, le trajet effectué. Les copies d'écrans possibles pour ce test représenteront ce trajet, superposé au tracé de l'enfant, et illustreront chacun des ajustements effectués par l'enfant pour relier les points.

Cet exercice, tout comme deux exercices dans le niveau précédent, va permettre au thérapeute ou moniteur de confronter les résultats dans le test informatique avec les résultats dans le test manuel. En effet, les thérapeutes proposent très souvent aux enfants un exercice ' relier des points ' sur du papier. Cette tâche demande une certaine anticipation et une exécution de gestes relativement précis; or on observe souvent avec certains enfants I.M.C. des tracés non rectilignes dûs au fait que l'enfant masque avec sa main un des deux points qu'il doit joindre. Le test informatique est alors intéressant puisque ce ' masquage ' est impossible, et de plus l'exercice lui permet tous les ajustements possibles avant de relâcher l'appui sur le bouton du contacteur.

La taille des points à relier peut varier d'une séance à l'autre, en fonction du résultat obtenu par l'enfant au test ' Cible de précision ' dans le niveau 1 de l'étape 2, si ce test a été effectué préalablement. Ainsi donc, si l'enfant a réalisé au préalable ce test des cibles de précision, la



taille des points utilisée pour ce niveau 3 sera la taille du carré à l'intérieur duquel l'enfant aura ' cliqué ' au moins huit fois sur dix, dans l'exercice 'cible de précision', sinon une taille moyenne par défaut sera utilisée. La figure 4.29 illustre une copie d'écran d'un exercice du test 'Relier des points'.

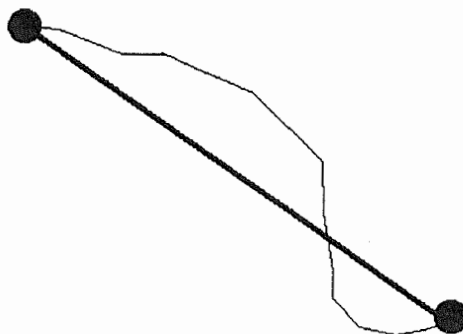


Figure 4.29 : Le trajet réalisé par l'enfant ( trait fin )  
est superposé au tracé de l'enfant ( trait épais )

#### 4.6.4 L'étape 3 : la recherche par défilement

Dans les exercices de cette étape, une partie des informations utiles sont cachées; l'objectif de l'enfant sera d'afficher ces informations cachées et de rechercher les réponses correctes des exercices, en utilisant des systèmes de défilement, permettant de visualiser sur l'écran certaines informations, et de cacher les autres. Même si les programmes d'actions ou schémas d'actions demeurent simples, l'enfant devra réfléchir, raisonner, et anticiper les opérations à réaliser pour retrouver l'information souhaitée; il pourra aussi se rappeler les informations qu'il aura éventuellement mémorisées au préalable.

##### \* Niveau 1 : Structure linéaire

Le rôle de la mémoire est important dans les deux exercices de ce niveau, et le thérapeute pourra observer si l'enfant retient correctement les

informations affichées dans le passé. Nous avons choisi pour ces deux exercices la métaphore du livre pour illustrer les notions de ' Précédent ' et ' Suivant '. Cette métaphore du livre convient également très bien pour représenter le concept de séquence linéaire. Le livre représente l'histoire de Petit Pierre qui s'habille pour aller se promener. On présente initialement le livre fermé, et l'enfant peut le parcourir en tournant les pages. Dans le premier exercice, il utilisera le coin inférieur des pages pour tourner celles-ci, tandis que dans le second, il utilisera les deux boutons en bas du livre, contenant l'un, une flèche orientée vers la gauche, et l'autre une flèche orientée vers la droite. Les pages de gauche illustrent le vêtement ou les chaussures utiles à Petit Pierre, les pages de droite représentent Petit Pierre qui porte ce vêtement ou ces chaussures. Nous avons aussi choisi d'ajouter un motif sur le fond des pages, pour bien montrer à l'enfant que les pages tournent. Une phase d'entraînement est possible pour chacun des deux exercices. Le test est particulier : c'est une interaction entre l'enfant et le moniteur, qui pose des questions telle que : " retrouve la page où Petit Pierre a mis son short ", et l'enfant répond aux questions en affichant la page recherchée. Le moniteur observera ainsi les actions de l'enfant, et la compréhension des concepts de page suivante, page précédente. Aucune mesure n'est effectuée par l'ordinateur. La figure 4.30 illustre la page où Petit Pierre met ses chaussures, pendant la phase de test.

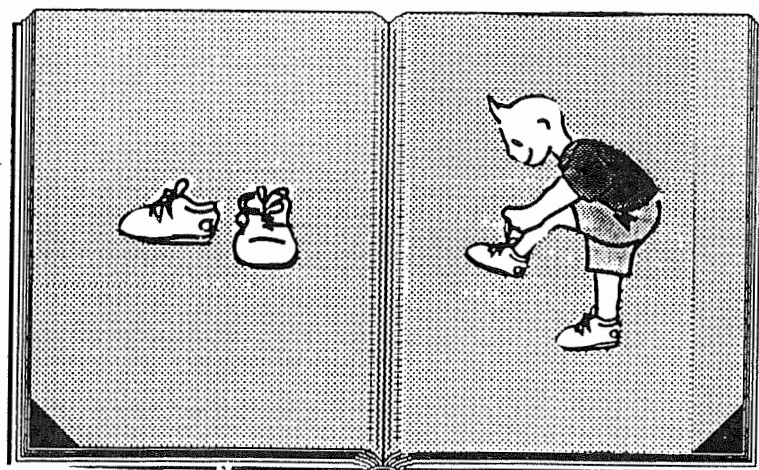


Figure 4.30 : Le livre de Petit Pierre

\* Niveau 2 : Fenêtre de défilement

Les informations de ce niveau sont plus abstraites que celles utilisées dans le niveau précédent. En choisissant une figure géométrique simple, on pourra à la fois modifier le motif intérieur de cette figure, et sa taille, pour créer ainsi des séquences linéaires de plus en plus complexes.

L'enfant devra dans les trois exercices de ce niveau rechercher parmi un ensemble de figures carrées, la figure équivalente au modèle proposé dans le coin supérieur droit de l'écran. Il utilisera pour cela des barres et des flèches de défilement pour afficher successivement chaque figure de l'ensemble. Selon l'exercice, on fera tantôt varier le motif de la figure, tantôt varier le motif et la taille de la figure. En débutant avec un défilement simple ( gauche, droite ou haut, bas ), le thérapeute pourra observer chaque réaction de l'enfant, et juger si ce dernier comprend le mécanisme des barres et des flèches de défilement. Ce mécanisme des barres de défilement a été choisi pour ces exercices, car il est présent dans bien des logiciels que les enfants utilisent, comme par exemple un traitement de texte classique sur le Macintosh; il est donc utile de pouvoir observer et évaluer si l'enfant comprend ce mécanisme.

Le premier exercice est un ensemble de six figures rangées horizontalement et classées de gauche à droite à partir du motif le plus clair vers le motif le plus foncé. Une barre de défilement horizontale permet de passer d'une figure à l'autre. Dans le second exercice, les figures sont rangées verticalement, à côté d'une barre de défilement verticale. Dans le troisième exercice, les figures sont rangées sous la forme d'un tableau de 16 figures différentes. Sur une même ligne, les figures sont rangées de gauche à droite, du motif le plus clair vers le motif le plus foncé, et sur une même colonne, de haut en bas, de la taille la plus petite vers la taille la plus grande. Deux barres de défilement, l'une verticale l'autre horizontale permettent de se déplacer dans le tableau.

La largeur de toutes les barres de défilement a été volontairement agrandie, afin de faciliter leur utilisation, et leur fonctionnement a été simplifié et réduit à l'appui sur une des deux flèches pour faire défiler les informations sur l'écran. Une action sur la surface entre ces flèches de défilement, ou sur l'ascenseur de la barre ne produira donc aucun résultat, ceci dans le but de ne pas trop perturber l'enfant qui maladroitement

pourrait agir sur ces surfaces. Pour faciliter la tâche de l'enfant et pour le guider, nous avons aussi choisi, dans le troisième exercice, de relier les figures entre elles sur une même ligne et sur une même colonne, par un trait, permettant ainsi à l'enfant de pouvoir localiser plus rapidement la figure recherchée. Chaque phase d'entraînement débute par la présentation de l'ensemble des figures et l'enfant pourra à tout instant pendant l'entraînement réafficher cette présentation en utilisant une touche spéciale du clavier. La figure 4.31 représente le premier exercice en phase d'entraînement. La figure 4.32 illustre la présentation initiale de l'ensemble des figures avant entraînement.

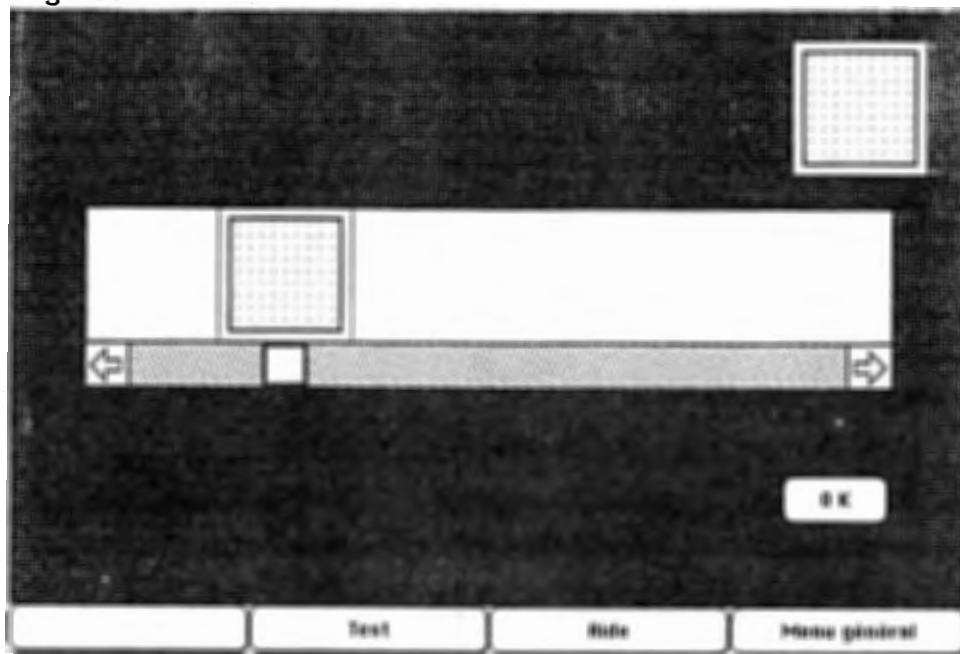


Figure 4.31 : Défilement sur 6 cases horizontales

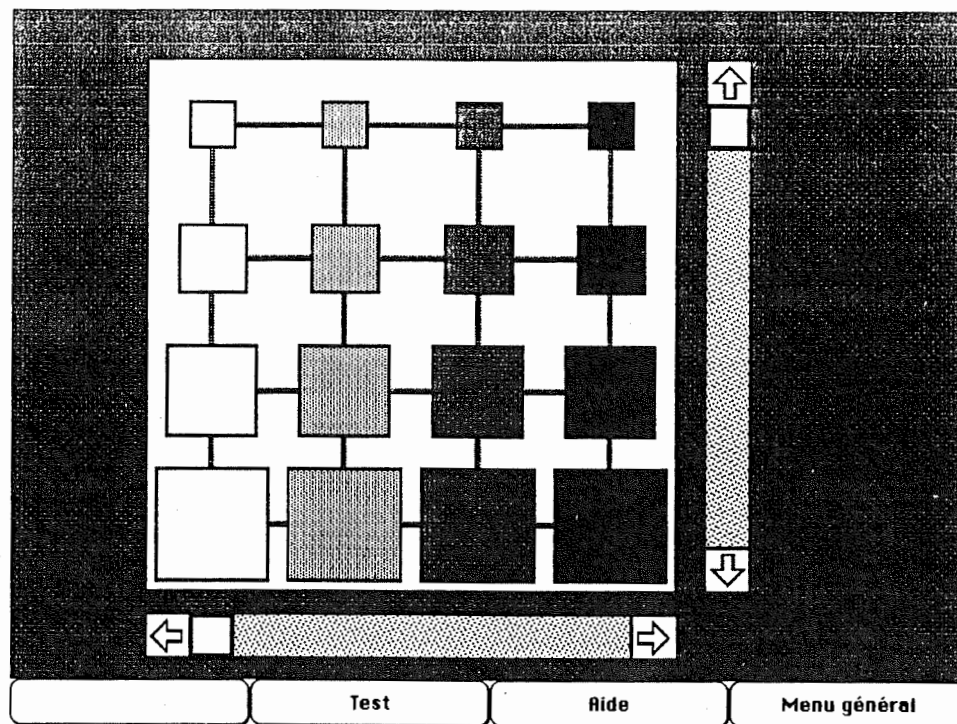


Figure 4.32 : Présentation des figures avant l'entraînement

\* Niveau 3 : Structure circulaire

Nous étudions dans ce niveau, la technique des structures circulaires ou en boucle. Dans ces structures, l'élément suivant le dernier élément est le premier élément, et le précédent du premier, est le dernier. Nous avons créé pour cela une roue, découpée en 8 segments. A chaque segment est associé un chiffre de 1 à 8, et un motif : plus le chiffre est élevé, plus le motif est foncé; tout ceci pour guider au maximum l'enfant dans sa tâche de recherche. Il n'y a jamais que trois segments de la roue qui sont visibles à tout instant, les autres sont cachés par un masque; le motif de chaque segment reste cependant toujours visible. On demande à l'enfant pendant l'exercice, de faire tourner la roue quelque soit le sens, et de rechercher le chiffre indiqué dans le coin supérieur droit de l'écran. Pour tourner la roue, l'enfant dispose dans le premier exercice de ' poignées ' situées de part et d'autre de la roue, tandis que dans le second exercice, il dispose de deux boutons sous la roue. Tout comme pour les exercices du niveau 2 de cette

étape, on débute la phase d'entraînement par la présentation de toutes les informations ( les huit segments de la roue sont visibles ). On mesurera bien sûr la durée d'entraînement et la durée du test, ainsi que le temps de réponse moyen et l'écart type, et le nombre d'erreurs commises. La figure 4.33 illustre la roue utilisée dans les exercices de ce niveau.

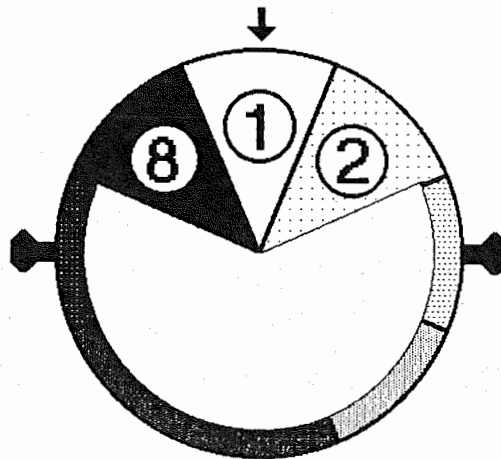


Figure 4.33 : La roue utilisée dans les exercices de ce niveau 3

Le moniteur pourra observer chaque stratégie utilisée par l'enfant dans sa recherche de la solution, et l'anticipation de chacun de ses gestes.

En résumé, le moniteur pourra observer au travers des exercices de cette étape 3, si l'enfant anticipe de façon efficace les gestes et les opérations qu'il effectue dans les tâches de recherche. Ainsi, l'enfant tourne-t-il les pages du livre dans le bon sens, choisit-il le sens correct des flèches dans les barres de défilement, choisit-il toujours le chemin le plus court avec la roue pour arriver à la solution ?

Tous ces exercices visent donc à observer et étudier différents concepts chez l'enfant, qui ont été développés dans le premier chapitre.

#### 4.7 Les mesures effectuées

Les principales mesures effectuées dans le logiciel, sont des mesures de temps :

- \* durée de l'entraînement : temps qui s'écoule entre l'appui sur le bouton 'Entraînement ', et l'appui sur le bouton ' Test'
- \* durée du test : temps qui s'écoule entre l'appui sur le bouton 'Test', et l'affichage de l'écran ' Fin de test'
- \* temps de réponse moyen : temps qui s'écoule entre l'affichage de la question, et la réponse de l'enfant
- \* temps d'appui moyen : temps qui s'écoule entre l'appui de l'enfant sur le bouton du contacteur, et le relâchement de cet appui.

Pour ces deux derniers temps, on calcule également un écart type par la formule :

E.T. = écart-type

$Y_i$  = l'observation numéro i

Z = la moyenne des observations

n = nombre d'observations pendant le test

$$E.T. = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Z)^2}{n}}$$

Cet écart type exprime la dispersion des valeurs des observations autour de la moyenne de ces observations. Plus l'écart type est élevé, plus la dispersion est grande. Un écart type égal à zéro signifie que l'enfant a un temps de réponse et/ou une durée d'appui constante pour chaque réponse.

En plus de ces mesures de temps, on totalise également les erreurs commises par l'enfant : réponse incorrecte, appui au mauvais endroit, au mauvais moment.

Ces résultats sont reportés en fin de test dans une fiche dont la figure 4.34 illustre un exemple.

RESULTAT										
Exercice : Balayage 16 cases										
D.E. = Durée de l'entrainement.										
D.T. = Durée du test.										
T.R. = Temps de réponse moyen et écart type.										
R. = Nombre de réponses correctes.										
er1 = Nombre d'appuis au mauvais moment.										
Balayage = type de balayage (séquentiel, ligne/colonne, colonne/ligne, quadrangulaire).										
V. = Vitesse de balayage.										
D. = Déclenchement du balayage (manuel ou automatique).										
Exercice	D.E. (mn)	D.T. (mn)	T.R. (sec)	T.A. (sec)	R.	er1	er2	Balayage	V.	D.
132	0.18	0.36	6.36 : 2.6		5/5	0		lig./col.	2	auto.

Figure 4.34 : Exemple de fiche de résultats d'un test

Ces mesures sont aussi, sauf avis contraire du moniteur, globalisées dans une fiche récapitulative de la séance, qui est imprimable. La figure 4.35 en est un exemple.

RESULTATS GLOBAUX										
D.E. = Durée de l'entrainement.										
D.T. = Durée du test.										
T.R. = Moyenne du temps de réponse et écart.										
T.A. = Moyenne du temps d'appui et écart.										
R. = Nombre de réponses correctes.										
er1 = erreur de temps ( fonction de l'exercice)										
er2 = erreur de localisation ( fonction de l'exercice)										
Balayage = type de balayage (séquentiel, ligne/colonne, colonne/ligne, quadrangulaire)										
V. = Vitesse de balayage (en seconde)										
D. = Déclenchement du balayage (Manuel ou Automatique)										
Exercice	D.E. (mn)	D.T. (mn)	T.R. (sec)	T.A. (sec)	R.	er1	er2	Balayage	V.	D.
212		0.9	1.05 : 0.19	0.08 : 0			0			
132	0.17	0.23	3.63 : 2.03		2/5	3		lig./col.	1.25	auto.

OK

Imprimer

Figure 4.35 : Exemple de fiche récapitulative des résultats



Enfin, ces mesures sont également enregistrées sur support ( disque ou disquette ) lorsqu'on quitte le logiciel. Les mesures permettent au moniteur d'évaluer l'enfant et d'apprécier les progrès réalisés entre deux séances.

Le moniteur peut également, s'il le souhaite, ajouter des commentaires à ces mesures : commentaires sur les conditions dans lesquelles le test s'est déroulé, sur les éventuels problèmes observés avec l'enfant etc. Ces commentaires pourront eux aussi être imprimés avec les fiches de résultats.

### 4.8 L'ergonomie dans le logiciel

Décrivons l'ergonomie du logiciel au travers des critères ergonomiques empiriques de design énumérés dans le chapitre 3

#### 4.8.1 La cohérence

Nous avons tenté de maintenir un maximum de cohérence dans les différents écrans : boutons poussoirs et titres au même endroit, même nom pour des boutons ayant une fonction identique, même présentation des écrans de sélections d'exercices, même présentation des résultats , même style des dessins etc.

#### 4.8.2 La concision

Nous avons écarté de l'écran toutes les informations étrangères à la tâche, afin que l'enfant ne soit pas perturbé ni dérangé; seul le strict minimum d'informations est affiché sur l'écran. Les menus déroulants utilisés dans le logiciel sont simples, courts et expressifs. Ils sont réservés au moniteur, et exprimés sous forme textuelle. Le menu 'Balayage' utilisé dans le niveau 3 de l'étape 1, n'apparaît pas dans la barre de menu générale lorsqu'on ne réalise pas d'exercices sur le balayage automatique. Le menu 'Ergolab' existe lui durant toute la séance, il contient trois opérations destinées au moniteur, pour lui permettre d'afficher le signalétique, arrêter un exercice en cours, ou afficher le menu général. Nous avons également jugé utile d'associer un raccourci à certains item de

ce menu ' Ergolab ', toutefois ces raccourcis sont simples à mémoriser. Lorsque la barre de menu en haut de l'écran n'est pas utile, elle n'est pas affichée sur l'écran; elle ne risque donc pas de perturber l'enfant dans la tâche qu'il réalise. Nous avons ainsi pour tous les écrans éliminé toutes les informations inutiles pour la tâche concernée.

#### 4.8.3 La structuration des activités

Chaque exercice est une activité, qui a un début et une fin. L'enfant réalise un exercice, il observe ses résultats, puis passe à un autre exercice. Il n'est jamais amené à débiter un exercice sans en avoir terminé avec un autre. Lorsqu'il réalise avec satisfaction un exercice, il est à même de débiter quelque chose de plus complexe.

Chaque activité est d'une durée relativement courte, permettant ainsi à l'enfant de ne pas se démotiver au milieu d'une tâche trop longue. C'est aussi très utile lorsqu'on sait que généralement un enfant I.M.C. ne reste que très peu de temps concentré sur son activité.

#### 4.8.4 Le retour d'information

Le retour d'information visuel est toujours présent dans le logiciel, il informe l'enfant de son appui sur un bouton, ou du déplacement d'un objet. L'enfant peut ainsi valider ou invalider immédiatement l'opération qu'il vient de réaliser. En plus de ce feedback visuel, nous avons ajouté un feedback sonore dans les exercices. Les différents exercices d'un test sont suivis d'une note musicale différente, jouée de façon de plus en plus aiguë, et qui informe de la progression de l'enfant dans le nombre d'exercice d'un test. Ce son est simple, il guide l'enfant plutôt que de le perturber. On avertit également avec un simple 'bip' lorsque l'enfant ' clique ' sur un endroit incorrect de l'écran. Enfin, la manipulation directe rend compte immédiatement sur l'écran de tous les faits et gestes de l'enfant.

#### 4.8.5 La gestion des erreurs

Elle occupe très peu de place dans le logiciel. En effet, l'objectif est de réaliser une évaluation de l'enfant, les erreurs qu'il commet ne sont

donc pas tragiques, et ne le plongent pas dans une situation catastrophe. Nous avons cependant offert à l'enfant dans certains exercices, la possibilité de corriger certaines erreurs commises :

- possibilité de redémarrer le balayage au début, en cas de mauvaise sélection dans l'exercice de balayage avec un tableau de 16 cases.
- possibilité d'effacer le(s) trait(s) déjà réalisé(s) dans l'exercice 'Relier des points', puis de recommencer.

#### 4.8.6 La flexibilité

Le logiciel réalisé autorise l'utilisation de divers dispositifs d'entrée, et est donc accessible tant aux enfants valides qu'aux autres enfants. La possibilité de faire varier certains paramètres tels que le type de balayage, la vitesse de balayage, ou la taille des stimulus dans divers exercices, permet d'adapter au mieux l'interface, donnant ainsi aux enfants davantage de chances de réussite.

Quelques mots à présent sur le temps d'apprentissage, et la satisfaction subjective. Le logiciel ne nécessite pas d'apprentissage particulier, mis à part dans l'utilisation du dispositif d'entrée. Toutefois il y a pour quasi chaque exercice une possibilité de s'entraîner avant le test. L'enfant pendant cette phase, peut ainsi au besoin apprendre les manipulations à réaliser, et le fonctionnement du dispositif d'entrée des informations. J'ai pu observer pendant mon stage, le plaisir et la motivation qu'avaient les enfants à utiliser ERGOLAB; mais il faut cependant veiller, vu le nombre important d'exercices du logiciel, à ne pas en 'demander trop' aux enfants, qui pourraient très vite se démotiver.

#### 4.9 ERGOLAB : outil d'évaluation

ERGOLAB est un logiciel d'évaluation et non un logiciel d'apprentissage. Il permet au thérapeute d'observer les problèmes que rencontre l'enfant avec tel matériel dans tel exercice, ou son habileté et sa rapidité de manipulation du dispositif d'entrée. Ces observations vont guider le thérapeute dans sa recherche et dans son choix du matériel et

des logiciels les plus adéquats pour un enfant. ERGOLAB permet également de réaliser régulièrement un bilan, comparer avec les résultats des séances antérieures, et admirer les progrès réalisés par un enfant.

Le logiciel ERGOLAB sera aussi vraisemblablement utilisé pour réaliser une évaluation parmi une population d'enfants valides âgés entre 3 et 10 ans. Cette évaluation conduira peut-être un jour à réaliser un étalonnage, qui permettrait de confronter les résultats de la population d'enfants I.M.C. , avec les résultats de la population d'enfants valides.

ERGOLAB permettra également en analysant les résultats obtenus, de dégager certaines règles concernant des problèmes d'ergonomie, destinées à aider les concepteurs d'interfaces dans leur travail : ainsi, les éléments utilisés sont-ils bien localisés sur l'écran, leur taille est-elle suffisante, la tâche est-elle bien adaptée ?.

#### 4.10 Propositions d'amélioration

Voici quelques améliorations possibles dont ERGOLAB pourrait être l'objet dans l'avenir :

- \* La couleur

On pourra avec un environnement capable de gérer la couleur, introduire cet élément dans chacun des exercices, pour embellir l'interface et augmenter la convivialité, en veillant cependant au respect de certaines règles, afin que cette couleur ne vienne pas perturber les enfants valides ou non qui réalisent les tests. Ainsi par exemple, on pourra introduire de la couleur dans les stimulus pour attirer l'attention des enfants, sans agir sur la couleur du fond de l'écran, afin de ne pas perturber et distraire l'enfant avec des tâches multicolores.

- \* D'autres exercices

L'on pourra bien sûr dans l'avenir introduire de nouveaux exercices jugés utiles et intéressants, ou remplacer certains exercices par d'autres, ou encore réduire leur nombre. Quoiqu'il en soit, chaque thérapeute utilisera

par préférence certains exercices au détriment d'autres jugés moins utiles, ou imaginera des exercices alternatifs qu'il pourra intégrer dans le logiciel, car ERGOLAB n'est certainement pas un ensemble exhaustif d'exercices

- \* Reprise de certains exercices du logiciel pour en faire des exercices d'apprentissage

ERGOLAB n'étant pas un logiciel d'apprentissage, au fil des utilisations, les moniteurs jugeront certainement très utiles divers exercices. Il serait peut-être alors intéressant de s'inspirer de ces exercices pour en faire des répliques exactes ou remodelées et les rassembler dans un logiciel purement d'apprentissage pour former l'enfant à certains mécanismes tels que les balayages automatiques, les systèmes de défilement, les déplacements d'objets.

## Conclusion

Nous avons souligné dans l'introduction de cet ouvrage, l'importance de la technologie, et en particulier de l'informatique pour les personnes non valides. Elle leur apporte davantage d'autonomie, et donc d'indépendance dans leur vie de tous les jours. Beaucoup d'efforts ont été réalisés dans l'adaptation du matériel pour ces personnes, mais les spécialistes doivent à présent s'investir davantage dans l'adaptation des logiciels. Tout au long de ce travail, nous avons montré divers problèmes rencontrés dans les interfaces pour les enfants I.M.C. ; nous avons aussi souligné l'importance de bien connaître les utilisateurs auxquels est destinée l'interface, et l'utilité d'appliquer la méthode prototypage-expérimentation-évaluation.

L'objectif du logiciel ERGOLAB était de pouvoir évaluer quelques problèmes d'ordre ergonomique dans les interfaces. Une vingtaine d'exercices ont été créés, permettant d'observer et de quantifier les performances des enfants dans des tâches de balayage automatique, de déplacement d'objets, des tâches de précision, de rapidité, d'utilisation de système de défilement etc. Le logiciel développé devait être suffisamment flexible et autoriser l'utilisation de divers types de dispositifs d'entrée pour permettre à un maximum d'enfants de l'utiliser. Il en est bien ainsi, puisque le logiciel est actuellement utilisé régulièrement pour évaluer les différents enfants. ERGOLAB aidera également le moniteur pour l'observation de certaines caractéristiques dans les tests, et pour la recherche et le choix du matériel et des logiciels les plus adéquats pour un enfant.

Quant à parler des résultats du travail d'évaluation, il semble encore prématuré de tirer certaines conclusions puisque le logiciel n'a été achevé qu'au mois de mai 1992. Une évaluation prolongée, et qui sait, peut-être menée en parallèle avec des enfants valides, fournira davantage de résultats. Une chose est certaine, les enfants aiment utiliser ERGOLAB, même si les exercices qu'il renferme ne sont pas toujours très ludiques.

Des propositions d'améliorations du logiciel ont été énoncées, avec l'ajout possible de nouveaux exercices et/ou de nouvelles fonctionnalités.

Cette continuité du logiciel sera peut-être un jour réalisée dans le cadre d'un nouveau mémoire.

Enfin, je ne voudrais pas terminer cet ouvrage, sans ajouter que ce travail m'a passionné, il m'a permis d'apprendre à mieux connaître les enfants I.M.C. , que je méconnaissais comme beaucoup de personnes; et il a été également très enrichissant tant sur le plan informatique que sur le plan social.

<p style="text-align: center;"><b><u>Bibliographie</u></b></p>
--

Apple Computer Inc. : *Guide d'initiation à Hypertalk pour Macintosh* 1990.

Apple Computer Inc. : *Référence Hypercard* 1991.

Apple Computer Inc. : *Hypercard II GS Script Language Guide :  
The Hypertalk Language.*

Addison-Wesley Publishing Company, Inc. USA 1990.

Apple Computer Inc. : *Hypercard Stack Design Guidelines.*

Addison-Wesley Publishing Company, Inc. USA 1990.

Bodart François (1989-1990) : *Cours introductif aux interfaces  
Homme-Machine.* Namur, année académique 1989-1990.

Coutaz Joëlle (1990) : *Interfaces homme-ordinateur : Conception et  
réalisation.* Dunod informatique Paris.

de Souza F. & Bevan N. (1990) : " The use of guidelines in menu  
interface design : evaluation of a draft standard " in  
*Human-Computer Interaction Interact '90 IFIP.*  
D. Diaper et al. North-Holland pp. 435-440.

Gillet X. & Brousmiche L. (1989-1990) : *Logiciel de simulation  
d'un jeu de marionnettes pour enfants infirmes moteurs cérébraux.*  
Mémoire à l'Institut d'Informatique Namur, 1989-1990.

Green A.J.K. & Barnard P.J. (1990) : " Iconic interfacing :  
the role of icon distinctiveness and fixed or variable  
screen locations " in *Human-Computer Interaction Interact '90 IFIP.*  
D. Diaper et al. North-Holland pp. 457-462.



- Macleod M. & Tillson P. (1990) : " Pull-down, Holddown, or Staydown ? a theoretical and empirical comparison of three menu designs " in *Human-Computer Interaction Interact '90 IFIP*.  
D. Diaper et al. North-Holland pp. 429-434.
- Piaget J. (1967) : " Intelligence et adaptation biologique " in Association de Psychologie scientifique de Langue française, *Les processus d'adaptation*.  
Presses Universitaires de France Paris.
- Piaget J. (1970) : *Biologie et connaissance*.  
Gallimard Paris 2<sup>o</sup> édition.
- Piaget J. (1974) : *Adaptation vitale et psychologie de l'intelligence*. Hermann Paris.
- Présentation assistée par ordinateur : Guide Apple des produits disponibles pour Macintosh*.  
Apple Computer France Juin 1989.
- Provot I. & Vanderdonckt J. (1990) : *Les objets interactifs : classification et typologie*.  
Rapport IHM/ERGO/4 Namur.
- Reuchlin M. (1979) : *Psychologie*.  
Presses Universitaires de France Paris.
- Robaye F. (1975) : *L'enfant au cerveau blessé*.  
Editions Dessart et Mardaga Bruxelles.
- Salapatek P. (1968) : " Visual scanning of geometric figures by the human newborn " in *J.compar. physiol. psychol.*  
pp. 66, 247-258.

Scapin D.L. : *Guide ergonomique de conception des interfaces homme-ordinateur*. Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique 1987.

Schneiderman B. (1987) : *Designing the User Interface : Strategies for effective human-computer interaction*. Addison-Wesley Publishing Comp.

Tabary J-C. (1981) : *Précis de Psychologie*. Editions Maloine S.A. Paris.

Truscelli D. (1991) : " Mieux comprendre l'infirmité motrice cérébrale " in *Vie et Santé*. Editions Vie et Santé Paris avril 1991 pp. 16-19.

van Nes F.L. & Juola J.F et Moonen R.J.A.M (1987) :  
" Attraction and distraction by text colours on displays "  
in *Human-Computer Interaction Interact '87 IFIP*.  
H.J. Bullinger et B. Shackel North-Holland pp. 625-630.